



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Mari-Liis Štrik-Ott

**ELEKTROMÜGRAAFIA TAGASISIDESEADME
ARENDUS**

DEVELOPMENT OF ELECTROMYOGRAPHY
BIOFEEDBACK DEVICE

Magistritöö
Ergonoomika õppekava

Juhendaja: Märt Reinvee, *MSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Mari-Liis Štrik-Ott		Õppekava: Ergonoomika	
Pealkiri eesti keeles: Elektromüograafia tagasisideseadme arendus			
Lehekülgi: 57	Jooniseid: 10	Tabeleid: 20	Lisasid: 5
Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool, Tehnika Instituut			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4.14. Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine, T500 Tööohutustehnoloogia			
Juhendaja(d): Märt Reinvee, <i>MSc</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2019			
<p>Lühikokkuvõte eesti keeles (150-250 sõna):</p> <p>Elektromüograafia (EMG) on valdkond, mis on spetsialiseerunud elektrooniliste seadmete kasutamisele lihaste bioelektrilise aktiivsuse mõõtmiseks ja analüüsimiseks. Ergonoomikas kasutatakse lihasaktiivsuse mõõtmiseks mitteinvasiivset meetodit – pinnaelektromüograafiat (sEMG).Magistritöös uuriti Eesi maaülikoolis arendatava EMG tagasisideseadme edasiarenduse võimalusi, milleks viidi läbi mitmeetapiline patendiuuring ning uuriti seadme kasutusmugavust valjult mõtlemise meetodil. Patendiuuringust selgus, et EMG seadmete puhul kasutatakse peamiselt visuaalset, akustilist, taktilist ning ka elektrilist tagasisidet. Arendatava seadme puhul kaaluti akustilise tagasiside lisamist. Samuti võib järeldada, et EMG-seadmetele on antud mitmeid patente, kuid ainult vähesed on saavutanud kommertsedu. Seega innovatsioon, mis võiks viia patenteerimiseni, seisneb pigem konstruktsioonelementide arendamises. Kasutajakogemuse uuringus tuvastati mitmed võimalikud seadme kasutamisest tulenevad vead ning esitati need parendusettepanekutena uue prototüübi disainimiseks.</p>			
Märksõnad: EMG, tagasisideseade, tootedisain			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's / Bachelor's / Professional Higer Education Thesis	
Author: Mari-Liis Štrik-Ott		Curriculum: Ergonomics	
Title: Development of electromyography biofeedback device			
Pages: 57	Figures: 10	Tables: 20	Appendixes: 5
Department / Chair: Chair of Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: 4.14 Industrial Engineering and Management (T500 Safety technology) Supervisors:Märt Reinvee, MSc Place and date: Tartu 2019			
<p>Summary: Electromyography (EMG) is a study specializing in the use of electronic devices to measure and analyse the bioelectric activity of muscles. In ergonomics a non-invasive method to measure muscle activity - surface electromyography (sEMG) is used. The Master's thesis examined the further development of the EMG feedback device developed at Estonian University of Life Sciences, for which a multi-stage patent study was carried out and the usability of the device was studied by means of Think Aloud Protocol. The patent study showed that in EMG devices mainly visual, acoustic, tactile and electrical feedback types are used. In the case of the device being developed, the addition of acoustic feedback was considered. It can also be concluded that numerous patents regarding EMG devices have been granted, but only few have been commercialised. and the innovative patentable solutions lie in developing particulate parts of the device. In the user experience study, several possible errors in the use of the device were identified and presented as suggestions for improvement to design a new prototype.</p>			
Keywords: EMG, biofeedback device, product design			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ELEKTROMÜOGRAAFI DISAIN JA KASUTATAVUS	7
1.1. Elektromüograafia	7
1.2. Toote disain.....	10
1.2.1. Toote disaini protsess	10
1.2.2. Kaasaskantavate ja käeshoitavate seadmete disain	14
1.3. Kasutatavuskontspetsioonide meetodid	17
2. METOODIKA	23
2.1. Uurimisobjekt	23
2.2. Patendiuuring	26
2.3. Kasutajakogemuse uuring	27
2.4. Objektiivsed mõõtmised	30
3. ELEKTROMÜOGRAAFI ARENDUS	31
3.1. Patendiuuring	31
3.1.1. Üldised alused	31
3.1.2. Teema-uuring	32
3.1.3. Tehnikataseme uuring	34
3.1.4. Kommertstoodete uuring	35
3.2. Elektromüograafi disaini ja kasutatavuse analüüs	38
KOKKUVÕTE	53
KASUTATUD KIRJANDUS	54
LISAD	57
Lisa 1. Uuringus osaleja teavitamise ja teadliku nõusoleku vorm	58
Lisa 2. Eelneva EMG kasutamise kogemuse küsimustik.....	59
Lisa 3. EMG tagasisideseadme testimisjärgne kasutajakogemuse küsimustik	60
Lisa 4. Videosalvestuste üleskirjutised	62
Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	69

SISSEJUHATUS

Ergonoomika üheks eesmärgiks töökeskkonnas on hoolitseda töötajate tervise eest, sealhulgas vähendades nende kokkupuudet luu- ja lihaskonna vaevusi põhjustavate riskiteguritega. Vaatlusel põhinevad hindamismeetodid on paremini vastavuses praktikute vajadustega kui otsesed mõõtmise meetodid, mistõttu on need reaalses tööoludes kõige levinumad kasutatavad meetodid. Tulemused näitavad, et ligikaudu 30% praktikute vaatluspõhistes hinnangutes oli vigu. Kohati (13%) olid vead tõsised ja hinnang täiesti väär. Vaatlusmeetodite lihtsusest hoolimata ei suuda spetsialistid, kes tegutsevad töökeskkonnas ning viivad läbi vaatlusi, hinnata tegelikult töökeskkonnas esinevate luu- ja lihaskonna vaevuste tegelikku riskitaset. [1]

Elektromüograafia (EMG) on valdkond, mis on spetsialiseerunud elektrooniliste seadmete kasutamisele lihaste bioelektrilise aktiivsuse mõõtmiseks ja analüüsimiseks. Ergonoomikas kasutatakse lihasaktiivsuse mõõtmiseks mitteinvasiivset meetodit – pinnaelektromüograafiat (sEMG) [2].

Elektromüograafia (EMG) võib olla väga kasulik analüüsivahend, kui seda rakendatakse sobivates tingimustes ja tõlgendatakse lähtuvalt füsioloogilistest ja biomehhaanikalistest printsiipidest. Ergonoomikaliste uuringute nõuetekohase planeerimise ja tõlgendamisprotsessi piirangutega arvestamisega võib EMG olla sobilik töökeskkonna hindamise vahend [3].

Magistritöö on jätkuks 2015. aastal Peeter Vaasi poolt kaitstud magistritööle „Kuluefektiivse elektromüograafi arendus“, mille eesmärgiks oli võimalikult väheste rahaliste kulutustega hinnata lihaste elektromüograafilist aktiivsust mõõta võimaldavate moodulite rakendatavust ergonoomika alase õppe- ja teadustöö arendamiseks Eesti Maaülikoolis. Ka alljärgneva uurimuse eesmärgiks on elektromüograafia tagasisideseadme parendamine ergonoomikaalase õppetöö arendamiseks Eesti Maaülikoolis, kuid peamiselt keskendutakse seadme funktsionaalsusele ning kasutajamugavusele. Tegemist on tootearenduse edasise etapiga, kus toote prototüüpi katsetatakse võimalike kasutajate peal toote edasise parendamise eesmärgil. Samas peetakse kinni eelmise töö eesmärkidest: kuluefektiivsus ning kasutamine õppetöös, mis kindlasti mõjutavad arendatava seadme funktsioone ning konstruktsiooni. Kui

seadme kasutusvaldkonnaks on õppetöö, siis põhifunktsiooniks on lihaste aktivatsiooni visualiseerimine.

Magistritöö eesmärgi täitmiseks püstitati ning lahendati järgmised ülesanded:

- 1) Kirjanduse analüüsi käigus tutvuda elektromüograafia olemusega, seadmete disainimise ja kasutusmugavuse põhimõtetega.
- 2) Prototüübi loomine.
- 3) Koostada metoodika EMG tagasisideseadme kasutatavuse analüüsiks ja viia läbi kasutatavuse uuring.
- 4) Patendiuuringu käigus analüüsida olemasolevate EMG tagasisideseadmete funktsioone ja konstruktsioone.
- 5) EMG tagasisideseadme funktsionaalsete ja konstruktsiooniliste vajaduste sõnastamine patendiuuringu ning kasutusmugavuse uuringu põhjal.

Magistritöö on uurimisülesannete läbiviimise alusel jagatud etappideks. Uurimustöö esimese etapi eesmärk oli tutvuda elektromüograafi olemuse ning disainiga, uurida kaasaskantavate ning käeshoitavate seadmete disaini põhimõtteid ja erinevaid kasutatavuse kontseptsioone arendatava seadme kasutajamugavuse testimiseks. Seejärel konstrueeriti ning valmistati prototüüp. Järgmises etapis viidi läbi patendiuuring, mille käigus uuriti seni patenteeritud EMG seadmete erinevaid funktsioone ja konstruktsioone, selleks et veelgi parendada arendatava seadme loodava prototüüpi omadusi. Eelviimases etapis viidi läbi empiiriline uuring kaheksa vaatlusalusega valjult mõtlemise (*Think Aloud*) meetodil saamaks tagasisidet seadme prototüübi kasutajamugavuse kohta. Viimases etapis analüüsiti patendi- ning kasutatavusuuringu tulemusi ning tehti parendusettepanekud järgneva prototüübi loomiseks.

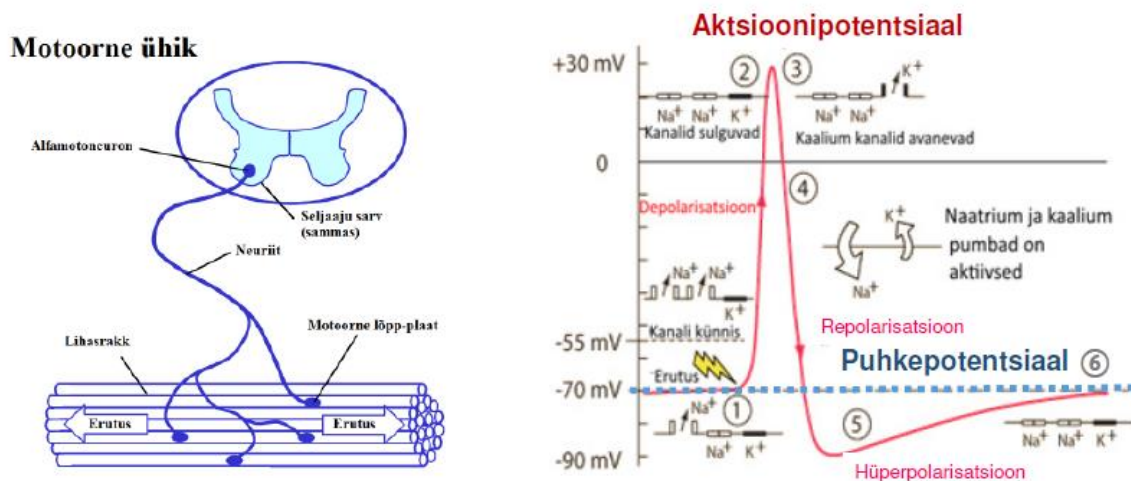
Magistritöö tulemusi tutvustati 18. aprill 2019 toimunud XIII Magistrantide teaduskonverentsil Inimene ja tehnoloogiad: **Štrik-Ott, M., Reinvee, M.** (2019). Elektromüograafial põhinevate tagasisideseadmete patendiuuring – *Konverentsi „XIII Magistrantide teaduskonverentsil Inimene ja tehnoloogiad“ kogumik*. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 112-117.

Töös on kasutatud IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut) numbrilist viitamissüsteemi [4].

1. ELEKTROMÜOGRAAFI DISAIN JA KASUTATAVUS

1.1. Elektromüograafia

Olemus ja põhimõtted. Elektromüograafia (EMG) on teadusvaldkond, mis tegeleb lihaskontraktsioonide käigus tekkinud elektriliste signaalide mõõtmise ja analüüsiga. Elektromüograafia mõõdab lihaste aktiveerimisega (joonis 1) seotud elektrilist signaali, sõltumata sellest, kas tegemist on tahtliku või tahtmatu lihaste kokku tõmbumisega [5].



Joonis 1. Motoorika juhtimine ja elektromüograafilise signaali teke. Allikas: [6], [7].

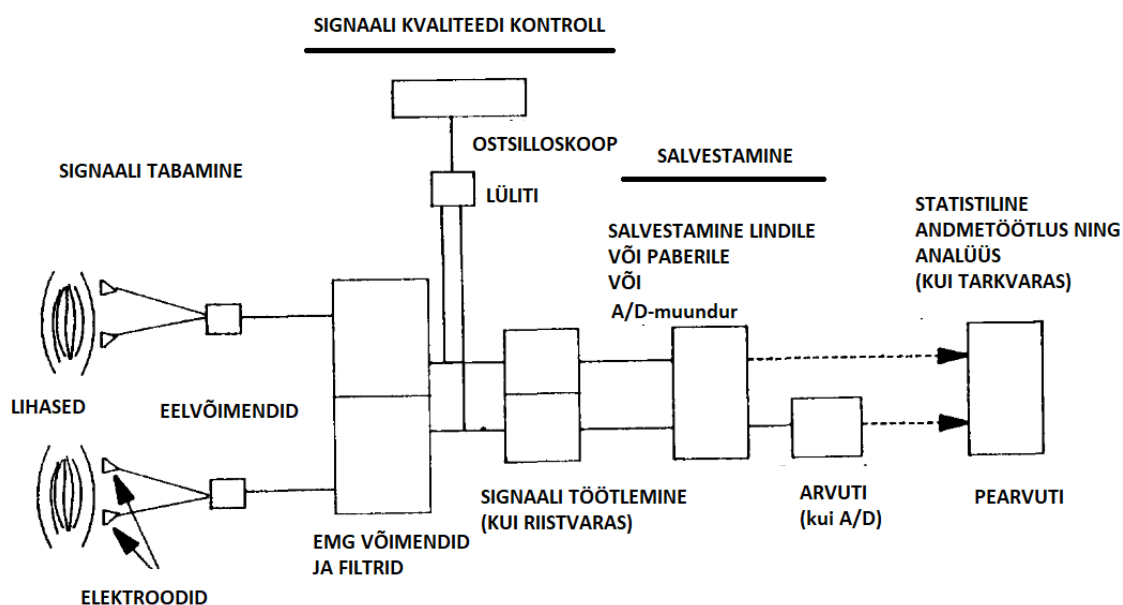
EMG võimaldab saada infot [8]:

- 1) lihase aktiivsuse või mitteaktiivsuse kohta;
- 2) lihasaktiivsuste võrdlemine (asendid, seadmed, olukorrad);
- 3) lihasjõu rakendamise hindamine (oluliste piirangutega);
- 4) lihasväsimuse hindamine.

EMG seadmed ja nende konstruktsioonid. Lihaste aktiveerimisega seotud elektrilise signaali mõõtmiseks mõeldud seadet nimetatakse elektromüograafiks. Elektromüograafi esmane ülesanne on registreerida, võimendada ja kuvada või salvestada madala amplituudiga neurofüsioloogilist signaali kõrge amplituudiga ümbritseva müra ja häirete keskkonnas [9].

Joonisel 2 on toodud elektromüograafi ehituse skeem, millel võib tuvastada, et peamisteks seadme osadeks on:

- 1) elektroodid,
- 2) juhtmed ja kaablid,
- 3) võimendid,
- 4) filtrid,
- 5) analoog-digitaalmuundur,
- 6) arvuti andmetöötluks ja analüüsiks.



Joonis 2. Elektromüograafi konfiguratsiooni skemaatiline esitus. Allikas: [10], autori tõlge.

Elektromüograafias jaotatakse elektroodid kaheks: pinna- ja nõoelektroodid. Nõoelektroodide puhul on tegemist invasiivse meetodiga ning nende kasutamine leiab peamiselt aset meditsiinis [9]. Pinna-elektromüograafias kasutatakse enamjaolt viite sorti elektroode [11]:

- 1) otsekontaktelektroodid (*direct contact electrodes*) – paigaldatakse otse nahale, kinnitatakse teibiga, sellist tüüpi olid esimesed arendatud sEMG elektroodid.
- 2) hõljuvad elektroodid (*floating electrodes*) – elektroodi ja nahapinna vahele kantakse geeli või pastat.
- 3) vesigeel elektroodid (*hydrogel electrodes*) – elektroodi ja nahapinna vahele kantakse vesigeeli.
- 4) Ribaelektroodid (*ribbon electrodes*) - koosnevad hõbedatindi elektroodist ja juhtmetest, mis on trükitud õhukesele Mylar lehele ja seejärel kaetud õhukese vahtplastiga.

- 5) Vaagnapõhja lihaste elektrodid (pelvic floor)– silindrilised ja hantlikujulised elektrodid, mida kasutatakse vaagnapõhjelihaste uurimisel.

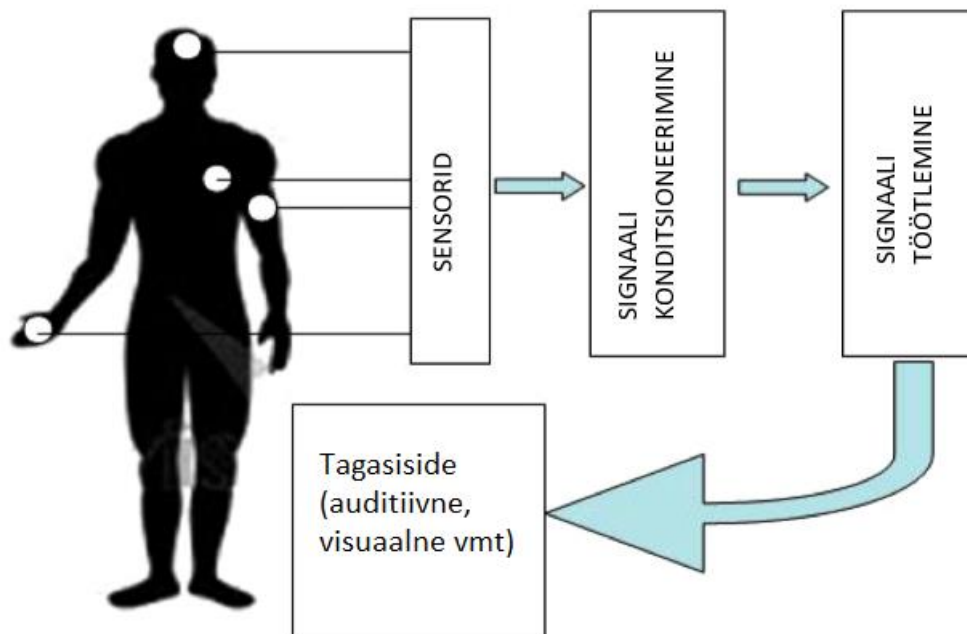
Pinnaelektromüograafia ehk sEMG (*surface electromyography*) signaali tugevus sõltub väga erinevatest teguritest, varieerudes indiviidide lõikes aga ka mõõtmise kellaaegade lõikes. Normaliseerimisprotseduur (valem 1) peab võimaldama usaldusväärseid võrdlusi subjektide, lihaste ja uuringutingimuste vahel. Seetõttu on normaliseerimise viisil tulemuste tõlgendamisele väga oluline mõju [12].

$$nEMG = \left(\frac{EMG_i - EMG_{min}}{EMG_{ref} - EMG_{min}} \right) \quad (1)$$

- kus EMG_i on mõõdetud elektromüograafiline aktiivsus V;
 EMG_{min} normaliseerimise skaala miinimum, tavaliselt rahuoleku elektromüograafiline aktiivsus, V;
 EMG_{ref} normaliseerimise skaala maksimum, tavaliselt suurima vabatahtlik pingutuse elektromüograafiline aktiivsus, V

Tagasiside (*biofeedback*) eesmärk on anda EMG seadme kasutajale infot skeetilihaste toimuvate muutuste kohta (nt ülesande sooritus tõhususe kohta). Joonisel 3 on toodud EMG seadme tagasiside süsteemi üldine põhimõte. EMG seadmetes võib kasutajale tagasiside andmiseks kasutada erinevaid viise; kõige levinumad on visuaalne, auditivne, taktiline või kombineeritud - akustiline/ visuaalne. Ükski tagasiside viis ei ole teisest parem, eelistama peaks seda viisi, mis sobib kokku sooritatava ülesandega ning ka subjekti eelistusega [3].

Peamiselt on kasutusel EMG signaali tagasisidestamine graafilisel või ka numbrilisel kujul kuvarile või siis signaali „tõlgendamine“ helisignaaliga. Tavaliselt seotakse helisignaaliid künnisega. Siinjuhul määrab terapeut amplituuditaseme ja kui toimub künnise ületamine, tagasisidestatakse informatsioon teatud heliga. Selliseid helikünniseid kasutatakse patsiendi sEMG signaalide "kuju" muutmiseks kõrgemale või madalamale tasemele [11].



Joonis 3. Tagasiside süsteemi üldine vooskeem. Allikas: [3].

EMG kasutamist piiravad tegurid. Elektromüograafia ja eriti just madala maksumusega elektromüograafide kasutamist piiravateks asjaoludeks on [12]:

- 1) mõjususe – kõrge staatiliste ülesannete korral, kuid dünaamiliste ülesannete korral problemaatiline;
- 2) tõhusus – sõltub lihaste asukohast ning normaliseerimise protseduurist;
- 3) uurijaga seotud piirangud – teadmised anatoomiast ning elektrofüsioloogiast;
- 4) tarkvaraga seotud piirangud – „toore“ EMG (*raw* EMG) signaali töötlemine ilma spetsiaalse tarkvarata on keerukas ja aega nõudev;
- 5) uuritavaga seotud piirangud – juhtmed peavad olema ühendatud nii, et need ei segaks liikumist.

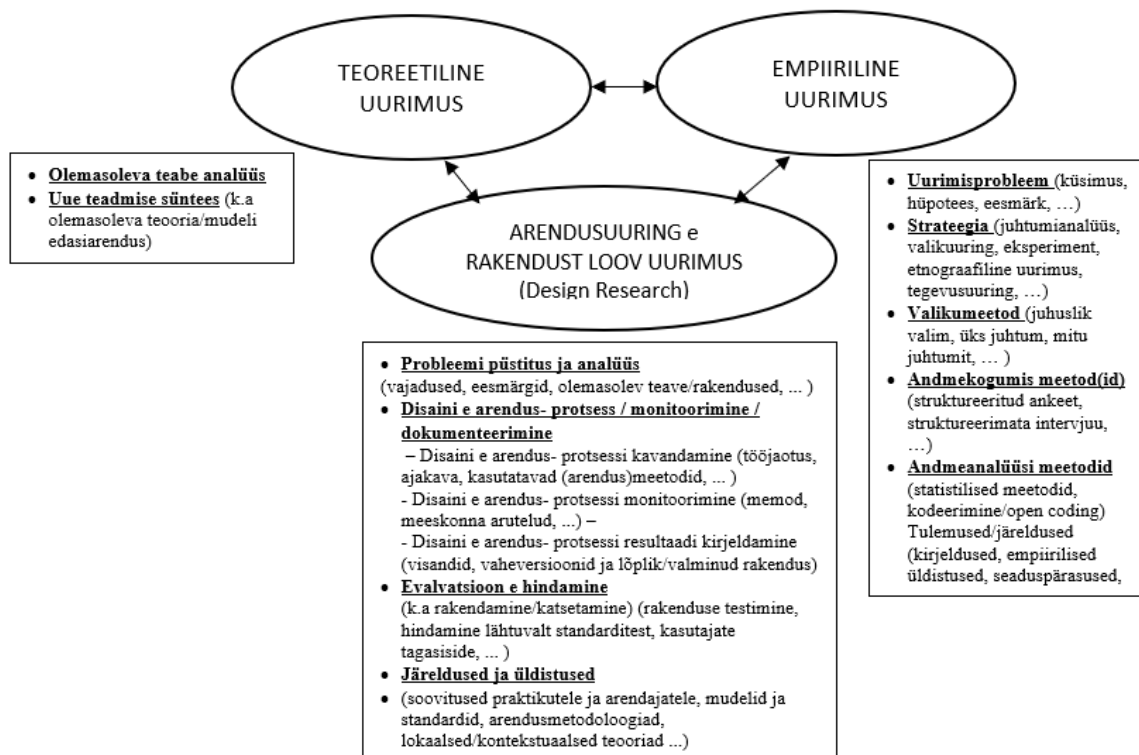
Seega tuleb eelpool nimetatud piirangutega arvestada nii EMG tagasisideseadme konstrueerimisel, kui ka kasutamisel.

1.2. Toote disain

1.2.1. Toote disaini protsess

Kaasaegne tootearendus on mitmetasandiline ja -etapiline protsess, mida küll juhivad 4 P-d: toode (*product*), hind (*price*), koht (*place*) ja müügiedendus (*promotion*), kuid mille keskmes on siiski tootedisain.

Kaasaegses uuringudisaini käsitluses on klassikaliste uurimusmeetodite - teoreetilise ning empiirilise, kõrvale toodud ka kolmas - arendusuuring ehk rakendust loov uurimus (joonis 4).



Joonis 4. Uuringutüüpide üldistatud klassifikatsioon. Allikas [13].

Kuna magistritöö keskmes on EMG tagasisideseadme arendamine läbi disainijuhtimise, siis asjakohane on rakendada esmase etapina teoreetilist uurimust, mille raames analüüsitakse olemasolevat teavet ning toimub ka uute teadmiste süntees. Töö teises pooles viiakse läbi toote arendusuuring, mille käigus toimub arendatava EMG tagasisideseadme arendusprotsessi kavandamine sh meetodika koostamine, hindamine läbi kasutaja kogemuse uurimise ning järelduste ja üldistuste tegemine arendatava seadme järgneva prototüübi loomiseks.

Disainiprotsessi ennast iseloomustavad tsüklilisus, korduvus ning mittelineaarsus. See on loovate tagasisideetappide seeria, kus iga järgnevat „kordust“ arendatakse edasi sihiga jõuda eesmärgistatud disainilahenduseni [14]. Kui protsess ise on mittelineaarne, siis „korduvuse“ ja „tsüklilisuse“ aspekte iseloomustab hästi Dr Demingi (planeeri-teosta-õpi-arenda) loodud mudel [15]. Mudel algab „planeerimise“ etapiga, mis kujutab endast soovitud tagajärgede saavutamiseks eesmärgi püstitamist, teooria formuleerimist, mõõdikute määratlemist.

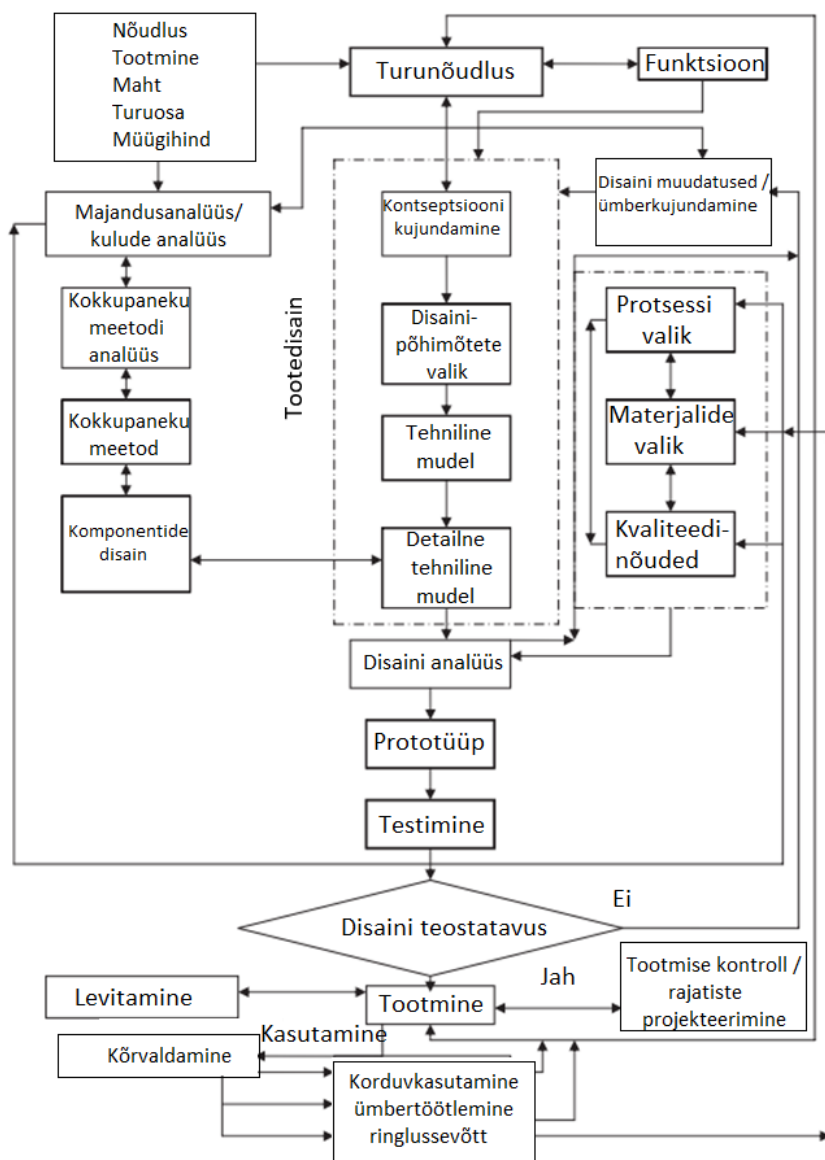
Järgneb samm „teosta“, mis kujutab endast planeeritud tegevuste ellu viimist (nt prototüübi valmistamine). Kolmandaks tuleb samm „õpi“, mille käigus kontrollitakse, kas tulemused vastavad ootustele ning millised on ka võimalikud probleemid ja parendamisvõimalused. Samm „arenda“ lõpetab mudeli tsükli integreerides kogu protsessi jooksul õpitu võimalike muudatustega eesmärgis, meetodite muutmises, teooriate ümbersõnastamises. Lõpuks, aga algab kogu tsükkel algusest peale ja kõiki etappe korratakse üha uuesti.

Võib öelda, et disainietapp on tootearenduse süda, mis oma tsüklilises tegevuses muudkui viib arendatavat toodet edasi ning ei lõpeta tööd ka pärast toote turule viimist.

Ka tootedisaini protsessi võib jaotada erinevateks etappideks (joonis 5), kus disaini sisenditeks on turunõudlus või ka toote idee, sest turg ei ole alati teadlik oma vajadustest, ning mille alusel kujundatakse tootekontseptsioon. Järgnevalt lepitakse kokku disainipõhimõtetes, mis lähtuvad eelkõige disainimeeskonnast ning arendatavast tootest. Edasi koostatakse toote esmane tehniline mudel ning planeeri-teosta-õpi-arenda etappide korduval rakendamisel jõutakse toote detailse mudelini, mis on sisendiks komponentide disainile ning ka disainianalüüsile. Viimane aga omakorda jällegi, läbi planeeri-teosta-õpi-arenda mudeli põhimõtete kasutamise, viib prototüübi loomiseni.

Tähtis on mõista ka, millises disaini etapis oma tootega asutakse, selleks et leida kõige sobivam meetod oma hetketegevuste analüüsimiseks. Kui toote disain on tehnilise mudeli ning detailse mudeli koostamise faasis, siis sel juhul oleks kõige mõistlikum läbi viia empiirilist uurimust ning analüüsida statistilisi andmeid, et saada objektiivseid vastuseid. Järgnev aste – disainianalüüs ning prototüübi väljatöötamine, võimaldavad enam keskenduda kvalitatiivsele infole sh potentsiaalsete kasutajate kogemuste mõõtmisele, et luua juba nende arvamuse põhjal uus, täiustatud prototüüp.

Prototüüpide väljatöötamine on disainiprotsessi oluline osa, mille käigus testitakse, analüüsitakse ja optimeeritakse uusi ideid enne, kui kinnitatakse tootmiseks vajalikud ressursid toote teostusfaasiks. Antud protsessi algfaasis võib luua mitmeid erinevaid prototüüpe, kuid edasiarendamiseks valitakse siiski enamasti optimaalseim, mis vastab lähteülesandes esitatud nõuetele, kasutajate vajadustele ning eelnevalt seatud edukuse kriteeriumitele (või ületab neid) [14].



Joonis 5. Integreeritud tootearendus. Allikas: [16], autori tõlge.

Seega disainianalüüsi eesmärgiks on eelkõige jõuda toote esimese prototüübini, mis sooritab soovitud ning nõutud funktsioone minimaalse võimaliku kõrvalekaldega etteantud soorituse sihtväärtusest [16].

Prototüüp on vajalik mitte ainult tehniliste katsetuste läbiviimiseks, vaid eelkõige just selleks, et saada kasulikku informatsiooni ja tagasisidet toote potentsiaalsetelt kasutajatelt. Sihtkasutajatel on raske mõista innovaatiliste ja uuenduslike toodete kontseptsioonis, kui prototüüp puudub [17]. Samas tuleb olla ettevaatlik prototüübi disaini teostatavuse testimisel, sest ainult sellise prototüübi testimine, mis koosneb komponentidest, mida hakatakse kasutama ka lõppkasutaja tootes, on mõistlik [18].

1.2.2. Kaasaskantavate ja käeshoitavate seadmete disain

Põhilised tegurid, mis kujundavad kaasaskantava elektroonilise seadme disaini, on järgmised [17]:

- 1) funktsionaalsus,
- 2) toimivus,
- 3) kasutajaliides,
- 4) vormitegur,
- 5) toiteallika kestvus,
- 6) maksumus,
- 7) turule jõudmise aeg,
- 8) usaldusväärsus.

Arendatava EMG tagasisideseadme puhul on antud etapis oluline hinnata eelkõige toimivust, kasutajaliidest ning funktsionaalsust, samas silmas pidades maksumuse aspekti, et arendatav seadme hind jääks alla 150 EUR. Toiteallika kestvus (jaemüügist soetatav patarei) ning turule jõudmise aeg ei ole antud hetkel asjakohased. Seadme usaldusväärsus on eelnevalt juba analüüsitud [19] ning osaliselt ka tagatud usaldusväärsete elektroonikatootjate komponentide kasutamisega.

Vormitegur, mille komponentideks on seadme mõõtmed, kuju ja mass [17], on käeshoitavate seadmete disaini puhul universaalne faktor st kõik käeshoitavad seadmed peavad olema selliste mõõtmetega, et mahuvad kasutaja kätte ja on kaalult piisavalt kerged käsitlemiseks. Üks esimesi samme käeshoitavate seadmete arendamisel ongi tagada hea füüsiline sobivus inimkäega. Kuigi käe üldmõõtmed ja morfoloogia ei ole tuhandete aastate jooksul muutunud, peavad disainerid siiski arvestama kavandatud sihtgrupiga [20].

Suurem osa rahvastikust, olenemata soost või rahvusest, on paremakäelised. Mittedominantsel käel on üldjuhul ainult 94% dominantse käe haardejõust. Mittedomineeriva käe sõrmedes on vähem jõudu kui domineeriva käe samades sõrmedes, vigu esineb rohkem ning täpsus on väiksem [8]. Seega on eelistatav seade, mida saab kasutada mõlema käega.

Lisaks käele on olemas ka domineeriv nõ laskmise silm. Uuringud on näidanud, et seos käelisuse ning domineeriva või teravama silma vahel ei ole oluline, külla aga on oluline seos domineeriva ja teravama silma vahel [8].

Juhtimisseadised on vahendid, mille abil informatsioon operaatori poolt tehtud otsusest edastatakse masinale. Juhtimisseadised jagunevad jalg- ja käsijuhtimisseadisteks. Juhtimisseadiste valikul peab teadma nende olemust ja tööpõhimõtet, mida lihtsustavad ja võtavad kokku mitmesugused klassifikatsioonid [21].

Disainerid peavad kaaluma mitte ainult seda, kuidas optimeerida vormitegurit inimese antropomeetriaga, vaid ka seda, kuidas antropomeetria võib häirida kavandatud toimingut sh juhtseadistega opereerimist. Näiteks võivad kasutajad vajutada rohkem kui ühte klahvi või nuppu, sest nupud on liiga väikesed või liiga kaugel asetsevad [20].

Kuvaseadised on vahendid, mille abil edastatakse informatsioon seadmelt operaatorile. Visuaalse tagasiside edastamiseks kasutatakse erinevaid ekraane ja kuvareid. Täpne kujutise esitus võib olla väga oluline, sest inimese visuaalne süsteem reageerib erinevalt valguse intensiivsuse värvile, suurusele, kestusele jmt. Selleks, et infoekraani kujundus tekitaks soovitud reageeringu, mis on kooskõlas näiteks elanikkonna stereotüüpidega, või soovimatu vastuse vältimiseks, peab kuvari kujutise heledus ja värvus vastama teatud spetsifikatsioonidele [21].

Kuvaseadiste erinevate elementide grupeerimine võimaldab operaatoril vähendada tööks vajalikku vaimset koormust ning samuti suunata tähelepanu vajaliku infoni ja mõista selle sisu. Elemente võib grupeerida vastavalt: a) värvilahendusele, b) mõõtmetele, c) kujule, d) graafiliste kujundite suurusele [22].

Tabelis 1 on esitatud inimese erinevad aistingu tüübid ning nendega seostuvad kasutajaliidese mehhanismid: juht- ning kuvaseadmed (vastavalt sisendid ja väljundid). Kui visuaalseks kuvaseadiseks on erinevad ekraanid ja näidikud, siis akustiliseks kuvaseadmeks on eelkõige erinevad kõlarid ja ka kõrvaklapid.

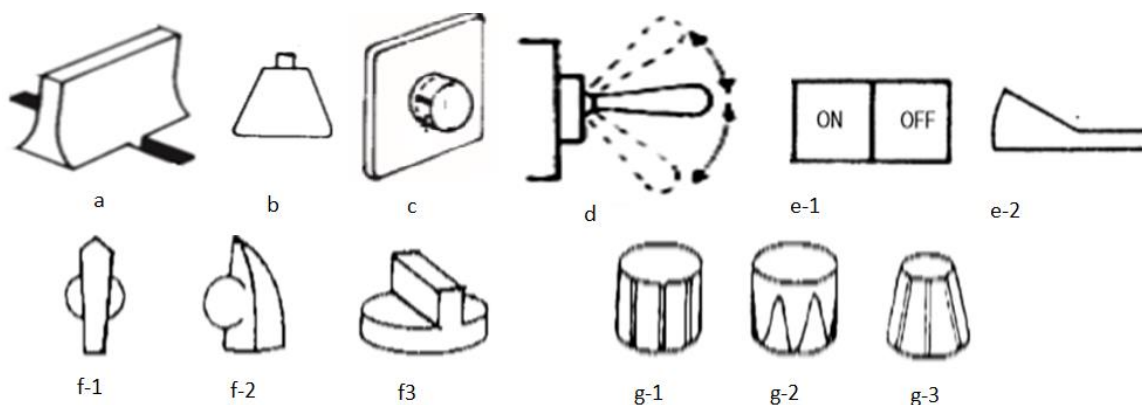
Akustilise ehk auditiivse tagasiside kaalumisel on esmatähtis välja selgitada, kas antud viis on antud rakenduses asjakohane? Üldiselt on akustilised kuvad sobilikud, kui sõnum on lühike, lihtne, ei toimu hilisemat taasesitust, operaatori visuaalne kanal on juba hõivatud,

vaja on kohene tegutsemine, operaatori või tema pea asukoht on teadmata, keskkonnatingimustest tulenevalt on visuaalse kuva kasutamine piiratud [21].

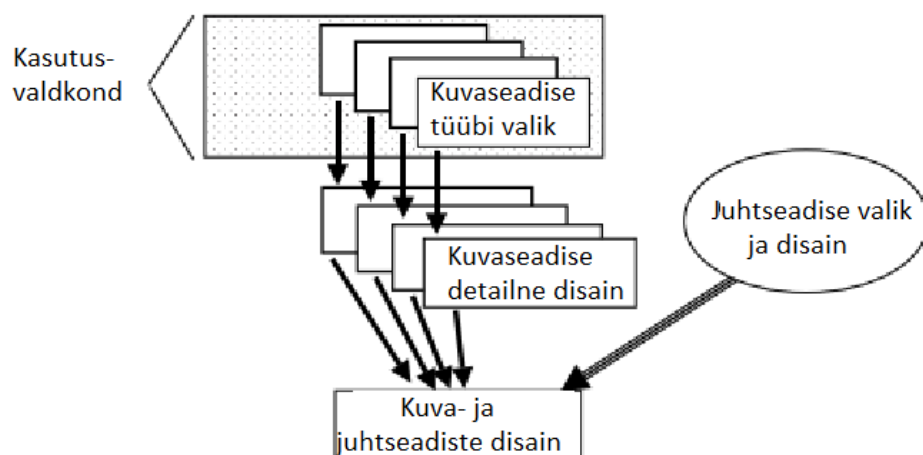
Tabel 1. Kaasaskantavate elektrooniliste seadmete kasutajaliidese mehhanismid. Allikas: [17].

Aistingu tüüp	Kasutajaliidese mehhanismid	
	sisend	väljund
Nägemis-	pildiandur, skanner, fotosilm	ekraan, märgutuli, näidik
Kuulmis-	mikrofon	kõlar
Puute-	nupp, lüliti, klaviatuur, numbrilaud, juhtkang, hiir, juhtkuul, puuteplaat, puutetundlik ekraan, inertsandur	vibratsioon
Maitse-	-	-
Lõhna-	-	-

Juhtimisseadiste tüübi valik (joonis 6) tuleneb eelkõige seadme funktsioonist ning kuvaseadisest. Näiteks surunupud ja kipplülitid ehk tumblerid sobivad masinate, seadmete ja nende osade käivitamiseks või seiskamiseks, kiiklüliteid kasutatakse sageli, aga valgustite puhul; pöördlülite ja -nuppude konstruktsioon võimaldab reguleerimist 3 kuni 24 positsioonile.



Joonis 6. Erinevad käsijuhtimisseadised: a) liugnupp; b) - tõmmatav – lükatav nupp; c) surunupp; d) kolme positsiooniline kipplüliti; e-1) – kiiklüliti pealvaade; e-2) kiiklüliti külgsuuna vaade; f1-f3) – pöördlülitid; g1-g3) pöördnupud. Allikas: [21].



Joonis 7. Kuvaseadise ja juhtseadiste valiku protsess. Allikas: [21].

Samuti peab olema loogiline ka kuvaseadise ning juhtimisseadiste omavaheline paigutus.

Kuva- ning juhtseadiste tajumine seadmehel on tihedalt seotud erinevate faktoritega nagu [21]:

- 1) juhtseadiste asetus ja korraldus;
- 2) juhtseadiste operatiivne loogika (juhtseadise-kuvaseadise ühilduvus, järjestamine, suunav ühendus);
- 3) juhtseadise tagasiside: asukoht, pinna taktilised omadused, kuju, välimus, akustiline signaal, märgistus, tõkestuskindlus, läbipaistvus);
- 4) rahvastiku stereotüübid (kasutajakogemusest tulenevad eelistused).

Seega võib öelda, et elektrooniliste käeshoitavate ning kaasaskantavate seadmete disainimisel lähtutakse eelkõige selle funktsioonist, mis määrab ära sobiva kuvaseadise, mis omakorda tingib juhtseadiste valiku ja disaini (joonis 7).

1.3. Kasutatavuskontspetsioonide meetodid

Selleks, et koguda informatsiooni ning sisendeid disainiprotsessi juhtimiseks, on parim alustada kasutajate eriomaste vajaduste väljaselgitamisega. Kasutajate vajaduste tundmaõppimiseks on mitmeid meetodeid ja käsitusviise: nende jälgimine ja vaatlemine sh nende loomulikus keskkonnas ning dokumentaalne disainiuring. Kasutajate/tarbijate mõttemaailma avamisprotsessist saadud teadmised viivad tõenäoliselt palju unikaalsemate ning loovamate lahendusteni [14].

Standardis EVS-ISO/IEC 25010:2011 „Süsteemi- ja tarkvaratehnika. Süsteemide ja tarkvara kvaliteedinõuded ja kvaliteedi hindamine. Süsteemide ja tarkvara kvaliteedimudelid“ on

kasutatavus (*usability*) defineeritud järgnevalt: „näitab toote ettenähtud eesmärgil kasutamise tõhusust, ajakulu ja kasutaja rahulolu“ [23]. Samas standardis on ka esitatud kasutuskvaliteedi mudel, milles on määratletud viis karakteristikut, mis on seotud süsteemi ja kasutaja interaktsiooni tulemitega: toimivus, tõhusus, rahuldus, riskitus ja kontekstikate. Kõiki antud tegureid tuleks seadmete kasutatavuse hindamise juures määratleda ja mõõta. Antud töö kontekstis tuleks vaadelda ja hinnata seadme toimivust, tõhusust ning võimalusel ka rahuldust. Riskitust ja kontekstikatet ei ole antud tootearenduse faasis asjakohane hinnata.

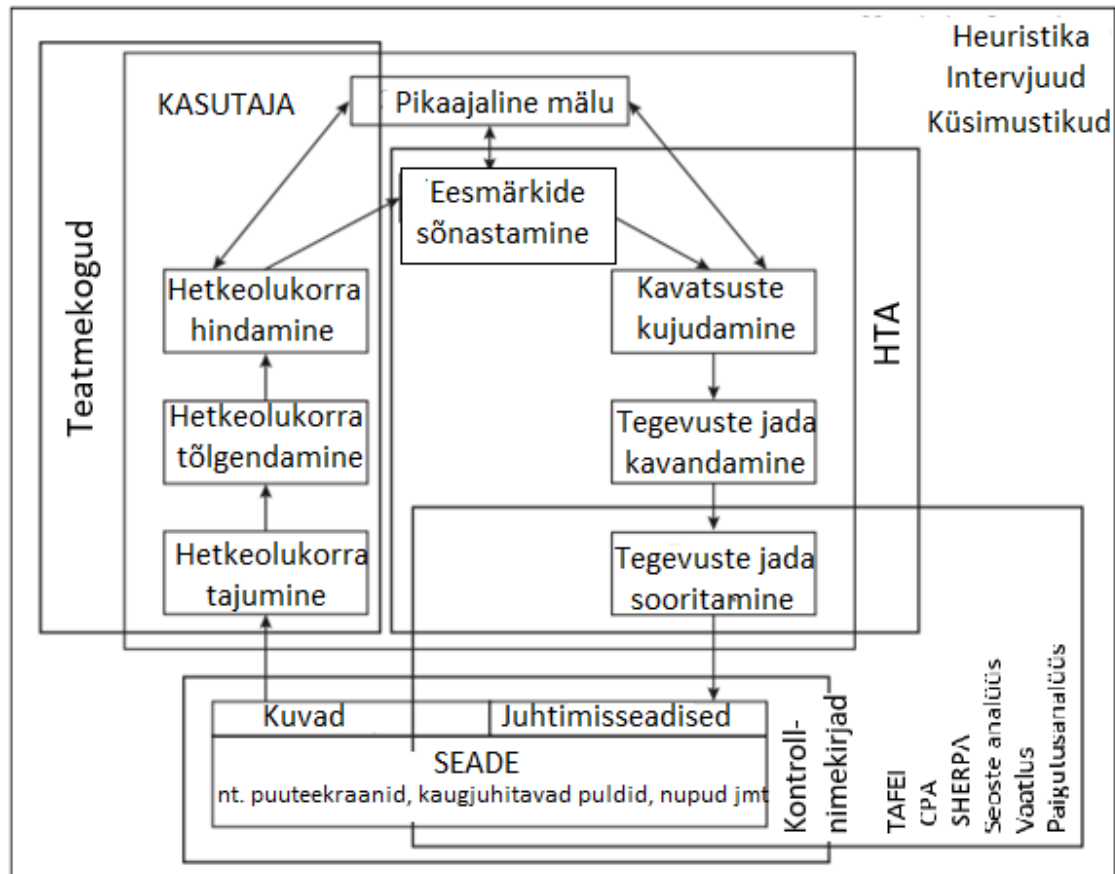
Selleks, et hinnata toote kasutatavust on loodud ning arendatud mitmeid erinevaid meetodeid, sobiva meetodi valik sõltub selles, millist aspekti parajasti uuritakse. Ergonoomilised meetodid on mõeldud tootekujunduse parandamiseks, mõistes või ennustades inimeste interaktsiooni nende seadmetega. Erinevad meetodid puudutavad antud interaktsiooni erinevaid aspekte (joonis 8) [24].

Interaktsioon toimub operaatori ehk kasutaja ning seadme, millel juhtimis- ning kuvaseadised, vahel. Seadme kuva edastab infot, millele järgneb kasutajapoolne esitatud informatsiooni tajumine, selle tõlgendamine ning hindamine, mille järel sõnastatakse kasutaja poolt uued eesmärgid. Eesmärkide elluviimiseks kujundatakse kavatsused, nende järjekord ning viiakse ellu läbi juhtimisseadiste opereerimise. Protsess on pidev ja tsükliline.

Kõige laiemini katavad toote kasutatavuse uurimisel ära küsimustikud, intervjuud kasutajatega, heuristika. Viimane nimetatuist kujutab endast avastamisõpetust, mille käigus rakendatakse „ajurünnakut“, tööhüpoteese ja modelleerimist, sh matemaatilist, mõttelist ja arvutiekperimenti [25]. Ka range tõestuse konstrueerimisel on heuristilised arutelud vajalikuks osutunud. Sageli on kasutajauuringut läbiviijate põhiprobleemiks asjaolu, et nad näevad, *mida* katselaused teevad, kuid nad ei tea *miks* nad seda teevad. Seetõttu on kasutusele võetud valjult mõtlemise (*Think Aloud*) meetod [26]. See on meetod, mille käigus vaadeldav isik räägib ülesande täitmisest püüdes kirjeldada oma tegevusi, mõtteid ja valikuid neid sealjuures tsenseerimata [27].

Paludes vaatlusalustel uuringu ajal valjusti mõelda saab infot selle kohta, kuidas kasutaja toote või süsteemiga ümber käies mõtleb ja kas see, kuidas uurimisobjekt toimib, sobib kokku selle kujundamise viisiga. Teadud määral piirab vaatlusaluseid enesetsensuur, nii et nad võivad teadlikult või alateadlikult asjadest rääkides infot välja jätta. Samamoodi on võimatu teada saada kõigest, mis sessiooni jooksul osalejate meelt läbib [28]. Viimasena

mainitud asjaolu tõttu ei tohiks toote kasutajamugavuse hindamisel kindlasti ainult valjult mõtlemise meetodi rakendamisega piirduda, asjaolude ning vaatlusaluste mõtete täiendamisel on kindlasti abiks küsimustikud.



Joonis 8. Ergonoomikaliste meetodite kattuvus erinevate kasutaja-seade interaktsioonitsükli tegevustega. Allikas: [24], autori tõlge.

Valjult mõtlemise meetodi kasutamisel on tähtis silmas pidada järgnevaid protseduurilisi aspekte [28]:

- 1) tutvustata uuringu eesmärki ning valjult mõtlemise protseduuri;
- 2) protsessi käiku sh kõikide mõtete avaldamist ning mittetsenseerimist;
- 3) meetodi piirangute tunnistamine ning mugava keskkonna loomine sh kinnitamine, et vaatlusalust ei hinnata;
- 4) harjutusülesande läbiviimine.

Kuigi meetod on iseenesest lihtne, siis analüüsid on näidanud, et vaatamata erinevatele edasiarendustele, toimib klassikaline valjult mõtlemise meetod üllatavalt hästi ning meetodi enda mõju kasutajate kogemusele ja rahulolule on tühine [26].

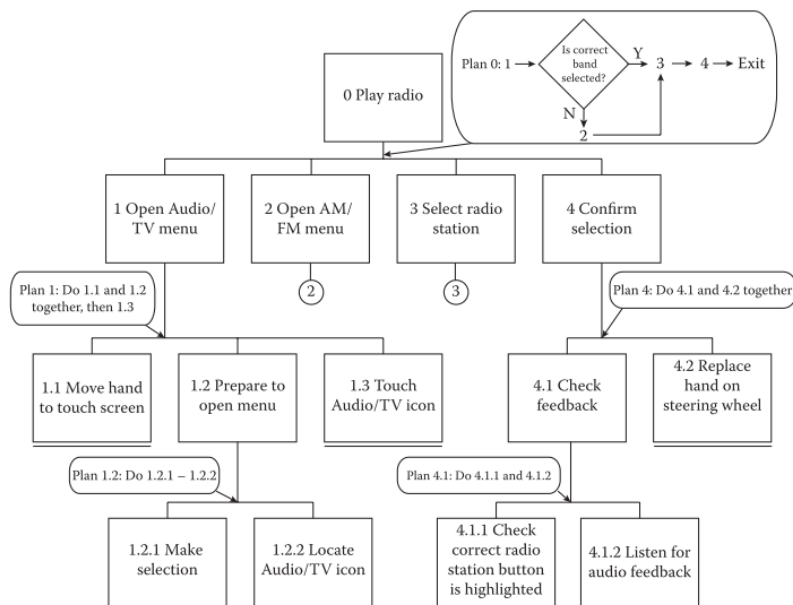
Selleks, et struktureerida ning analüüsida valjult mõtlemise meetodil tehtud kasutajakogemuse uuringut on sobiv kasutada hierarhilist ülesannete analüüsi. **HTA** (*Hierarchical Task Analysis*) või tegumianalüüs nagu nimigi ütleb, jaotab analüüsitava ülesande eesmärkide, operatsioonide ja plaanide hierarhiasse [24]. HTA arendasid 1960ndatel kaks tööstuspsühholoogi John Annett ja Keith Duncan. Nende eesmärk oli luua uurimise meetod, mis kirjeldaks nii *inimese tegevust* kui ka *töö eesmärki* selles kontekstis, kus tegevus toimus. Loodud analüüsimeetodi eesmärk oli pakkuda praktilist viisi probleemide kindlakstegemiseks, mida saaks seejärel käsitleda ergonoomikaliste lahendustega [29].

HTA laialdast kasutamist võib põhjendada kahe peamise asjaoluga: esiteks, tegemist on väga paindliku lähenemisega, mida saab kasutada kõikide süsteemide kirjeldamiseks; teiseks, seda võib kasutada väga erinevate väljundite puhul nagu personalispetsifikatsioonid, koolitusvajaduste hindamine, vigade prognoosimine, meeskonnatöö hindamine ja süsteemi disainimine [30].

HTA analüüs koosneb järgevatest sammudest [30]:

1. Analüüsi eesmärgi määratlemine.
2. Süsteemi kirjelduse piiride määratlemine.
3. Info hankimine analüüsitava süsteemi kohta erinevatest teabeallikatest.
4. Süsteemi eesmärkide ja alameesmärkide kirjeldamine.
5. Alameesmärkide arvu piiramine (st vahemikus 3 kuni 10).
6. Eesmärkide ja all-eesmärkide ühendamine ning tingimuste, mille alusel alameesmärgid käivituvad, kirjeldamine.
7. Alameesmärkide määramise lõpetamine
8. Analüüs tvaldkonna ekspertidega
9. Uus analüüs.

HTA läbiviimise tulemusi esitatakse nii diagrammi (joonis 8), kui ka tabeli-, nimekirja- või ka lihtsalt tekstivormis [29]. Valik sõltub analüüsi eesmärgist, süsteemist ja ka uurija kasutajakogemusest ning eelistustest.



Joonis 8. HTA esitus sõiduauto raadio kasutamise analüüsil. Allikas: [24].

Süstemaatiline inimvigade vähendamise ja prognoosimise lähenemine SHERPA (*Systematic Human Error Reduction And Prediction Approach*, ka PHEA — *Predictive Human Error Analysis*) on poolstruktureeritud inimvea tuvastamise meetod. See põhineb hierarhilisel ülesannete analüüsil (HTA) ja vigade taksonoomial. Selle läbiviimiseks võetakse iga HTA kõige alumise taseme tegevus ja tuvastatakse iga ülesande võimalikud vearežiimid (võib olla mitu). Sellest tulenevalt määratakse nende vigade tagajärjed ja otsitakse neile lahendused [31].

Esmalt klassifitseeritakse iga kõige madalama astme ülesanne vastavalt taksonoomia tüüpidele [30]:

- 1) tegevus (nt: nupu vajutamine, lüliti tõmbamine, ukse avamine);
- 2) infootsing (nt: info saamine ekraanilt või juhendist);
- 3) kontroll (nt: protseduuriline kontroll);
- 4) infoedastus (nt: kellegagi rääkimine);
- 5) valik (nt: valimine alternatiivide vahel).

Seejärel omistatakse ülesandele vearežiim koos kirjeldusega (tabel 2), mis edasi võimaldab määrata võimaliku tagajärje ning taastumiskiiruse, sündmuse tõenäosuse ning kriitilisuse. Viimasena määratletakse võimalikud parandusmeetmed [30] (tabel 3).

Tabel 2. SHERPA vearežiimide taksonoomia. Allikas [24], autori tõlge.

Vearežiim	Vea kirjeldus	Vearežiim	Vea kirjeldus
Tegevus (<i>Action</i>)		Kontroll (<i>Checking</i>)	
A1	Tegevus liiga pikk/lühike	C1	Kontroll minetati
A2	Tegevuse vale ajastus	C2	Kontroll mittetäielik
A3	Tegevus vales suunas	C3	Õige kontroll vael objektile
A4	Tegevus liiga palju/liiga vähe	C4	Vale kontroll õigel objektile
A5	Sobimatu	C5	Kontrolli vale ajastus
A6	Õige tegevus vale objektiga	C6	Vale kontroll vael objektile
A7	Vale tegevus õigel objektile	Infoedastus (<i>Information communication</i>)	
A8	Tegevus minetatakse	I1	Infot ei ole edastatud
A9	Tegevus mittetäielik	I2	Edastati valet infot
A10	Vale tegevus vael objektile	I3	Infoedastus mittetäielik
Infootsing (<i>Information Retrieval</i>)		Valik (<i>Selection</i>)	
R1	Infot ei saadud	S1	Info minetamine
R2	Saadi valet infot	S2	Vale valik
R3	Info saamine mittetäielik		

Tabel 3. SHERPA analüüsi tabel koos näitega. Allikas: [30]

Alam-ülesanne	Vea-režiim	Vea-kirjeldus	Tagajärg	Taastusaeg	T (tõenäosus)	K (kriitilisus)	Parendustegevus
1.1 lülitada seade sisse	A8	Ei suutnud seadet sisse-lülitada	Tegevust ei saa jätkata	kohene	madal	madal	Vajutada ükskõik, millist nuppu, seadme sisselülitamiseks

Vearežiimi esinemise tõenäosust (*probability*) või liigitada järgnevalt: suur (juhtub sagedasti); keskmine (juhtub 1-2 korda); väike (peaaegu ei juhtu). Vea režiimi kriitilisuse (*criticality*) kategooriateks on: suur (mõjutab lõpptulemust tugevasti); keskmine (mõjutab lõpptulemust mõõdukalt määral); väike (mõjutab lõpptulemust vähesel määral) [24].

Analüüs toimub hindaja subjektiivse pilgu läbi sh otsustab ta, milliseid vearežiime on antud kontekstis asjakohane kasutada, milliseid mitte ning millised võiksid olla parendustegevused [24].

2. METOODIKA

2.1. Uurimisobjekt

Uuriavaks seadmeks on Eesti Maaülikoolis arendatav kuluefektiivne EMG tagasisideseade. Arendatava seadme kasutusvaldkonnaks on õppetöö, seadme põhifunktsiooniks aga kahe lihase aktivatsiooni visualiseerimine.

Seade koosneb sensoritest, millele kinnitatakse elektroodid ning karbist, millel on juhtseadis tundlikkuse reguleerimiseks ja kuvaseadis mõõtmistulemuse tagasisidestamiseks.

Tabelis 4 ja joonisel 9 on toodud eelnevad (V1.0 ja V2.0) ning kasutajakogemuse uuringuks väljatöötatud (V3.0) EMG tagasisideseadme prototüübid ja nende andmed.

Tabel 4. EMG tagasisideseadmete versioonide võrdlus.

Seadme versioon	Mõõtmed (mm) pikkus x laius x kõrgus	Tagasiside		
		visuaalne tagasiside		akustiline tagasiside
		värvus	numbriline	
V1.0	130 x 68 x 45	+	+	+
V2.0	88 x 59 x 30	-	-	+
V3.0	90 x 60 x 30	+	-	-



a



b

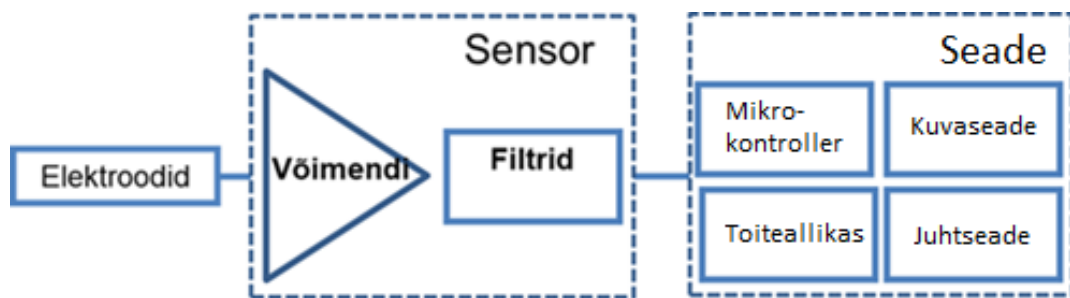


c

Joonis 9. EMG tagasiside seadme variandid: a – versioon 1.0; b – versioon 2.0.;c – versioon 3.0.

Seadme esimesel prototüübil V1.0 on kolm erinevat tagasideviisi: visuaalsetest numbriline ja värvus ning akustiline. Kuna EMG signaal on kiiresti muutuv, siis numbrilise tagasiside tajumine kasutaja poolt on piiratud. Samuti on keeruline numbrit fikseerida, sest tekib küsimus, millisel hetkel tuleks seda teha. Antud seadme juhtnuppude ja üksikute valgusdiodide arv ei võimalda kasutada väikeste mõõtetega mikrokontrolleri arendusplaati, samas suurendas arendusplaadi Arduino Mega kasutamine seadme maksumust ilma asjata 50 € võrra.

Versioon 2.0 omab ainult akustilist tagasisidet – võrreldes esimese seadmega on eemaldatud nii numbriline kui ka värvustagasiside. Seadmel olev punane valgusdiode näitab seadme sees/väljas režiimi. Akustilist tagasisidet (heli kõrgus vahemikus 200-1000 Hz) tekitab piosummer (olemuselt kõlar).



Joonis 10. Arendatava EMG tagasisideseadme prototüübi V 3.0 plokk skeem.



Joonis 11. Arendatava EMG tagasisideseadme prototüübi V 3.0 komponendid: a) elektrood (2tk); b) sensor (2tk); c) seade (1tk).

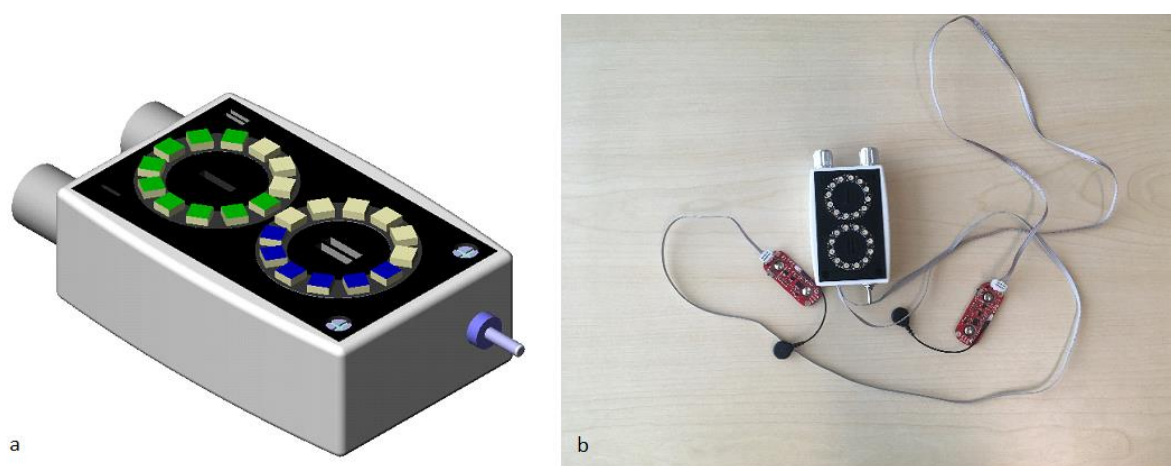
Joonistel 10 on esitatud arendatava EMG tagasisideseadme prototüübi V 3.0 plokk skeem ning ja joonisel 11 komponendid, mis mõlemad illustreerivad seadme konstruktsiooni erinevatest aspektidest.

Tabelis 5 on toodud arendatava seadme komponentide maksumused selleks, et parendustöö käigus silma peal hoida sellel, et ka lisafunktsioonide leidmisel oleks tagatud seadme kuluefektiivsus.

Tabel 5. Arendatava EMG tagasisideseadme komponentide maksumus.

Komponent	Tootja, mark, mudel	Tükihind, €	Kogus, tk	Kokku, €
Mikrokontroller	Kuman Trade, Mini Nano V3.0 ATMEGA328P 5 V,	4,8	1	4,8
Võimendid	Advancer Technologies, MyoWare Muscle Sensor	40	2	80
Kuvaseadised (LED rõngad)	Adafruit Industries, NeoPixel Ring - 12 x 5050 RGBW LEDs	9,95	2	19,9
Karp	EMÜ 3D print	6	1	6
Potentsiomeetrid 10kΩ	-	0,93	2	1,86
Potentsiomeetri nupp	SR Passives, GS6M-15X16	1,43	2	2,86
Tumblerlüliti	Massuse Electric, MTS103	0,95	1	0,95
9V patarei	-	4	1	4
Juhtmed ja tarvikud	-	-	-	1
Kokku				121,37

Joonisel 12 on toodud loodava EMG tagasisideseadme prototüüp V3.0, mis arendati eelnevate madala maksumusega EMG tagasisideseadme prototüüpide ning magistritöö teoreetilise osa põhjal.



Joonis 12. Arendatav EMG tagasisideseade V 3.0 kasutajakogemuse testimiseks: a) 3D mudel; b) valminud prototüübi foto.

Arendatav EMG tagasiside seadme prototüübil V 3.0 on kaks kuvaseadist (LED rõngad) – sinine 8bit RGB(0,0,200) ja roheline 8bit RGB(0,200,0), millede eesmärgiks on

visualiseerida normaliseeritud elektromüograafilist aktiivsust. Kuvaseadise skaala on 12-ne astmeline ning skaala alguspunkt on rõnga alumises osas asudes, analoogiat kasutades, „kella 6“ peal. Seadme sisselülitamisel läheb põlema LED-rõnga esimene tuli, mis vastab rahuoleku pingutusele ning pingutuse suurenemisel suureneb proportsionaalselt ka põlema läinud LED elementide arv (joonisel 12a on kanal I suurem pingutus kui kanalis II).

Selleks, et arendatava EMG seadme mõõtmised ning vastavalt visualiseeritud tagasiside oleks korrektne, on vaja enne mõõtmistegevuse alustamist läbi viia seadme signaali normaliseerimine, mis kujutab endas maksimaalse vabatahtliku pingutuse (MVC) seadistamist potentsiomeetrite ning kuvaseadise abil. Võimalik on ka potentsiomeetrite üle keeramine, mille korral kuvaseadise signaal rahuolekus korrektseks olekusse ei naase ehk on suurem kui 1. Ainult pärast normaliseerimise protseduuri on võimalik teostada adekvaatseid mõõtmisi. Normaliseerimise protseduur on edukalt teostatud, kui maksimaalse pingutuse hetkel on suudetud potentsiomeetritega seadistada LED elementide maksimum ehk 12 ning rahuoleku pingutuse korral põleb üks LED element.

2.2. Patendiuuring

EMÜs arendatava EMG tagasisideseadme arendamiseks tooteni viidi läbi patendiuuring. Patendiuuring teostati interneti andmebaasis esp@cenet ning selleks kasutati erinevaid märksõnu ja nende kombinatsioone. Antud etapis kaardistati EMG seadmeid, millelele on esitatud patenditaotlused. Enim andis tulemusi märksõna „*electromyography*“ – 818. Otsingu kitsendamiseks kasutati kombinatsioone: „*emg + device*“ (345 vastet), „*electromyography + device*“ (291 vastet), „*emg + feedback*“ (68 vastet) ning „*emg+biofeedback*“ (29 vastet). Arendatava toote patendiuuringus keskenduti nendele seadmetele, mille peamine eesmärk oli elektromüograafilise mõõtmise teostamine ning tulemuste tagasisidestamine. Seetõttu analüüsiti just kahe viimase märksõna kombinatsioone. Saadud andmete põhjal viidi esmalt läbi aine ehk teemauuring, selleks et saada teavet tuntud tehnilistest lahendustest ning saadud infot analüüsides leida arendatavale seadmele uusi tehnilisi lahendusi [32]. Leitud otsingutulemusi püüti grupeerida vastavalt seadme kasutusvaldkonnale: taastusravi/meditsiin, meelelahutus, proteesid, ergonoomika, sport või muu.

Peaaegu kõigil juhtudel on kaasaskantava elektroonilise toote disaini puhul funktsionaalsus kõige olulisem tegur, seetõttu tuleb eduka toote arendamisel funktsionaalsus selgelt määratleda ning sellele keskenduda ja mitte segi ajada teiste konstruktsioonelementidega [17]. Seepärast vaadeldi uuringu antud etapi käigus eelkõige leitud seadmete põhifunktsioone. Lisaks uuriti ka võimalikke konstruktsioone ning selle elemente.

Järgmisena teostati tehnika taseme uuring [32]. Selle käigus süveneti leitud patendidokumentidesse ning selgitati välja EMG tagasisideseadmete võimalikud lisafunktsioonid – eelkõige uuriti tagasiside viise: visuaalne, akustiline, taktiline vmt. Tingituna asjaolust, et enamus patenditaotlusi ei jõua eduka patenteerimiseni, süveneti ka leitud seadmete dokumentidesse, et selgitada välja kui paljudele seadmetele on tegelikkuses patendid väljastatud ning kas need on ka kehtivad.

Kõige viimasena teostati kommerts EMG seadmete uuring, mille käigus selgitati välja tuntumad elektromüograafe müüvad ettevõtted ning vaadeldi, kas ettevõtetel on antud toodetele või EMG valdkonnaga seotud patente ning milliste seadmetega (kasutusvaldkond, konstruktsioon, tagasiside viis jmt) on tegu. Teostatud analüüsi tulemusi kasutati arendatava EMG tagasisideseadme täiendamiseks.

2.3. Kasutajakogemuse uuring

Kasutajakogemuse uuringu esimeses etapis viidi läbi heuristiline analüüs kasutades selleks valjult mõtlemise meetodit (*Think Aloud Protocol*), mis annab võimaluse saada kvaliteetset tagasisidet potentsiaalsetelt toote kasutajatelt. Kõikidest katsetest tehti videosalvestused, mida ei avaldata üheski keskkonnas ning hävitatakse pärast magistritöö kaitsmist.

Uuringu valimi koostamise peamiseks põhikriteeriumiks oli, et vaatlusalusteks on võimalikud EMG tagasisideseadme kasutajad - seega õppejõud ja üliõpilased, kellede töös või õppetöös võis eeldada EMG-alaseid teadmisi või seadmete kasutamist. Valimi koostamisel ei eristatud vanust, sugu ega ka käelisust. Kuna uuring oli kvalitatiivse iseloomuga ning statistilist andmeanalüüsi ei järgnenud, siis võib öelda, et uuringus osalenute arv 8 oli piisav saamaks asjakohast informatsiooni.

Vaatlusaluseid kutsuti uuringus osalema e-posti teel, kus neid teavitati läbiviidava uuringu eesmärkidest ning metoodikast. Katsed viidi läbi kõikide osalejatega individuaalselt. Enne

katset tutvustati osalejale veelkord uuringu eesmärgi ning käiku ja paluti allkirjastada „Uuringus osaleja teavitamise ja teadliku nõusoleku vorm“ (Lisa 1) kahes eksemplaris, millest üks jäi osalejale, teine uuringu läbiviijale.

Peale nõusoleku vormi allkirjastamist tutvustati uuringu vaatlusalusele valjult mõtlemise protseduuri. Selgitati, et meetodi eesmärk on hinnata seadme kasutamise mugavust ning intuiitiivsust ja et mitte mingil juhul ei hinnata vaatlusaluse võimekust seadet käsitseda. Selgituste kinnistamiseks näidati vaatlusalusele ka Georgia Tehnikaülikooli üliõpilaste poolt koostatud õppevideot „*Method Manual: Think Aloud Protocol*“ [33].

Selleks, et välja selgitada vaatlusaluse teadmised ning kogemused elektromüograafia valdkonnas, tuli osalejal enne katse sooritamist täita „Eelnev EMG kasutamise kogemuse küsimustik“ (Lisa 2). Küsimustiku eesmärk oli identifitseerida vaatlusaluse senist kokkupuudet ja kasutajakogemust elektromüograafiliste mõõtmiste/seadmetega nii töös kui ka õppetöös.

Samuti paluti vaatlusalusel enne kasutajakogemuse uuringu katse sooritamist läbi teha prooviülesanne kasutades selleks valjult mõtlemise meetodit. Ülesandeks oli uurija abilist foto tegemine videosalvestuseks ettenähtud fotokaameraga.

Järgnevalt viidi läbi katse, mis toimus istudes - ühel pool lauda istus vaatlusalune, teisel pool uurija abiline, kelle käele oli eelnevalt kinnitatud elektroodid ja EMG sensorid ning kaamera taga uuringu läbiviija, kes dikteeris ülesandeid etapiviisiliselt.

Katse alustuseks tutvus vaatlusalune seadme lühijuhendiga (Lisa 3), kus paari lausega oli kirjeldatud katse sooritamiseks ning EMG tagasisideseadme opereerimiseks vajalikud aspektid ja ka illustratiivne joonis seadmest. Vaatlusalune võis juhendit kasutada kogu katse jooksul.

Katse käigus paluti vaatlusalusel oma tegevusi ning mõtteid verbaalselt väljendada sooritades järk-järgult järgmisi ülesandeid:

- 1) Võtta seade karbist välja.
 - 2) Ühendada juhtmed EMG sensoritega.
 - 3) Võtta seade kätte ning lülitada see sisse.
 - 4) Seadistada indikaatorid ühe kaupa suurimale vabatahtlikule pingutusele (MVC-le).
- Teatada kui eesmärk on saavutanud.

- 5) Jälgida abilise liigutustegevust ja tõlgendada seda visuaalse tagasiside põhjal.
- 6) Lülitada seade välja.

Selleks, et paremini selgitada vaatlusaluse EMG tagasisideseadme kasutamise kogemust ning võimaldada täiendada ülesannete sooritamise ajal väljendamata mõtteid, tuli peale ülesande sooritamist täita „EMG seadme testimisjärgne kasutajakogemuse küsimustik“.

Läbiviidud katsete videosalvestustest tehti ümberkirjutised (Lisa 4) ning kasutati järgmistes kasutajakogemuse uuringu etappides.

Vaatlusaluste kasutuskogemuse süstemaatiliseks esitamiseks ning täiendavaks seadme toimivuse analüüsiks tehti seadme ettenähtud funktsioonidele HTA ning SHERPA analüüsid.

HTA ehk hierarhilise tegumianalüüsis konstrueeriti hierarhiline diagramm, mis põhines vaatlusalustele etteantud ülesande tegevustel ning täiendati lisategevustega, mis tulid ilmsiks videosalvestuste üleskirjutamisel ja analüüsil.

Viimasena teostati SHERPA analüüs, mille sisenditeks olid nii kasutajakogemuse uuringu ülesande tegevuste hierarhiline struktuur kui ka videosalvestiste üleskirjutised. HTA struktuuri alusel analüüsiti vaatlusaluste tegevust täheldades ülesannete sooritamiseks vajalike tegevuste korduvust vastavalt joonisel 8 toodud kasutaja-seade interaktsioonitsüklile. Tõenäosust (T) hinnati järgneval skaalal: suur - juhtub sagedasti, (S); keskmine - juhtub 1-2 korda, (K); väike - peaaegu ei juhtu, (V). Tõenäosuse tulemus saadi vaatlusaluste ülesande sooritamise vaatluste alusel.

Kriitilisuse (K) aspekti hindamisel kasutati järgnevat skaalat: suur - mõjutab lõpptulemust tugevasti (S); keskmine - mõjutab lõpptulemust mõõdukalt määral, (K); väike - mõjutab lõpptulemust vähesel määral (V). Kriitilisuse hindamisel lähtuti uurija subjektiivsest hinnangust tegevuse mõjust lõpptulemusele.

Kolmandaks hinnatavaks aspektiks oli „taastumine“, mida hinnati vastavalt: kohene - alla minuti; viivitusega - minutite jooksul; taastumatu - ei taastu protsessi käigus. Siinjuhul lähtuti hinnangu andmisel vaatlusaluste sooritusest.

Analüüsi tulemusel tehti parendusettepanekud arendatava seadme uue prototüübi loomiseks.

2.4. Objektiivsed mõõtmised

Arendatava EMG tagasisideseadme patendiuuringu ja kasutajakogemuse uuringu järgselt otsustati saadud infopõhjal (kasutada ka akustilist tagasisidet) ülehinnata ka arendatud seadme V 2.0 poolt tekitatava akustilise tagasiside mõjusust ning seadme V 3.0 kuvaseadise eredust (hinnang kuvaseadise eredusele).

Tagasiside viiside intensiivsuse hindamiseks kasutati mõõtmisi. Prototüüp V 2.0 tagasiside ekvivalentne helirõhutase mõõdeti seadmest 1, 2 ja 4 m kaugusel müramõõturiga B & K 2250-L (täpsusklass I).

Prototüüp V 3.0 kuvaseadise eredust mõõdeti heledusmõõturiga Konica Minolta LS-150 (täpsus $\pm 2\% \pm 1$ VKÜ). Kuvaseadise ereduse mõõtmisel vähendati kuvaseadise pinget nimipingelt vähima võimalikuni sammuga 50% eelnenust (st. 100%, 50% 25% jne).

3. ELEKTROMÜOGRAAFI ARENDUS

3.1. Patendiuuring

3.1.1. Üldised alused

Tootearenduse käigus tehakse patendi- ja tööstusomandi teiste objektide (kasulik mudel, tööstusdisainilahendus, kaubamärk) uuringuid erinevatel põhjustel: toote idee faasis selleks, et määrata kindlaks arendatava toote tehnikatase, selgitada selle uudsus ning patendipere või viia läbi patendiseiret. Toote disainimise etapis võib eesmärgiks olla vajadus selgitada, kas arendatav toodet on mõistlik patenteerida; analüüsida, millised on erinevad olemasolevad lahendused; tootmis- ja turustustegevuse planeerimiseks; kaubamärgi registreerimise või tööstusdisainilahenduse uuringuks [32].

Patendiuuringu läbiviimine annab selle teostajale võimaluse õppida mõtlema patendiametnikega sarnasel viisil, mis lihtsustab tulevikus patenteerimise protsessi läbitegemist ning samuti annab oskuse hinnata ja analüüsida oma leiutise kitsaskohti ja parendusvõimalusi [34].

Eesti Vabariigi Patendiseadus ütleb, et leiutis on patenteeritav kui on täidetud kolm kriteeriumi: uudsus, omab tehnikataset ning on tööstuslikult kasutatav [35]. Sama põhimõte on kehtiv ka rahvusvahelisel tasandil, kusjuures tuleb ära märkida, et tööstuslikult kasutatav, ei tähenda siiski toodet, mida peaks saatma laialdane kasutusedu tööstuslikul skaalal [18].

Patent on üks leiutiste õiguskaitse vormidest. Õigusaktides leiutist ei defineerita, kuid leiutise all mõeldakse tehniliste probleemide lahendamiseks loodud tehnilisi lahendusi. Leiutisteks ei loeta avastusi ja äriideid ning neid ei saa ka patentida [36].

Patendi saamisel tekib patendiomanikul ainuõigus leiutise valdamise, kasutamise ja käsutamise üle. Patendikaitse andmise õigusfilosoofiliseks aluseks on ühiskondlik kokkulepe, mis seisneb selles, et leiutaja panuse eest teaduse ja tehnika üldisesse arengusse annab ühiskond leiutajale vastutasuks võimaluse teatud aja jooksul leiutist ainsana oma äranägemisel kasutada ning sellest tulu saada. Eesti Vabariigis ja ka enamikus teistes riikides kehtib patent kuni 20 aastat ja patendi kehtivusaeg on piiratud. Patendikaitse antakse

leiutisele selle registreerimisega patendiregistris. Leiutise registreerimiseks ja patendikaitse saamiseks tuleb koostada patenditaotlus ja esitada see Patendiametile. Patendiamet kontrollib leiutise patentsuse määramiseks selle uudsust, leiutustaset ja tööstuslikku kasutatavust. Patentsuse kriteeriumidele vastav leiutis registreeritakse asjakohases registris ning seda loetakse ka patendi väljaandmiseks.[36].

Nagu ka disain protsess on pidev ja tsükliline, tuleb patendiuuringuid teha kogu tootearenduse käigus [32] ja iga uue täienduse korral.

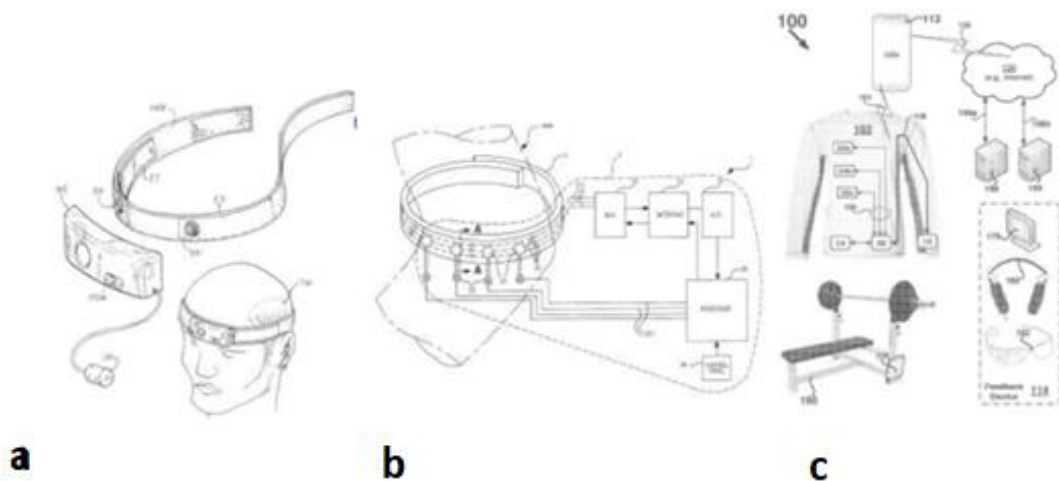
3.1.2. Teema-uuring

Teemauuringu käigus selgus (tabel 6), et enamuse so 70% märksõnade kombinatsiooni „*emg+feedback*“ ning 93% märksõnade kombinatsiooni „*emg+biofeedback*“ leitud EMG seadmetest kuulusid taastusravi ning meditsiini valdkonda. Mõningased seadmed kujutasid endast proteese ja ühe seadme puhul võis selle liigitada meelelahutuse valdkonda. Märksõna kombinatsiooni „*emg+feedback*“ puhul oli ka mitmeid seadmeid, mis langesid kategooriasse „Sport“. „Muu“ valdkonna leidudest võib näitena tuua käevõru kalligraafia oskuse lihvimiseks ning tehisintellekti arendamisega seotud seadmed. Samuti arvati „muu“ valdkonna alla seadmed, millel ei olnud mainitud kasutusvaldkonda või põhifunktsiooni.

Tabel 6. Teemauuringu käigus leitud seadmete grupeerimine vastavalt kasutusvaldkonnale.

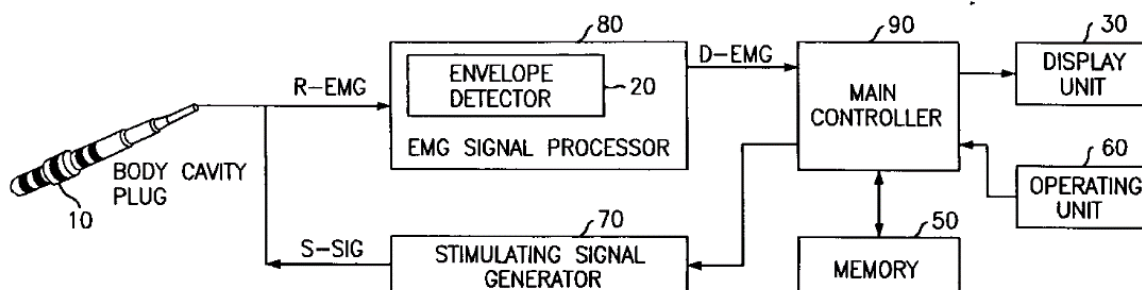
Märksõna kombinatsioon	Taastusravi/ Meditsiin	Ergonoomika	Protees	Meelelahutus	Sport	Muu	Kokku
<i>emg+feedback</i>	47	0	3	1	9	8	68
<i>emg+biofeedback</i>	27	0	0	0	0	2	29

Antud uuringu etapis vaadeldi ka seadmete põhifunktsioone ning konstruktsioone. Mitmete uuritud taastusraviseadmete põhifunktsiooniks on lihasaktiivsuse mõõtmise läbi liigutustegevuse või lihaste töö korrigeerimine sh näiteks jäsemelihaste ning vaagnapiirkonna lihaste rehabilitatsioon/treening, hammaste krigistamise (bruksism) vähendamine. Joonisel 13 on väljatoodud erinevad patenteeritud EMG tagasisideseadmed.



Joonis 13. Erinevad patenteeritud EMG tagasisideseadmed: a -. Bruksismi ravi. Allikas: [37] b. Intelligentne kehatugi. Allikas: [38] c. Sportliku suutlikkuse edendamise süsteem. Allikas: [39].

Uuritud seadmete konstruktsioone võib jaotada 2 põhirühma: esiteks, mitmetest erinevatest seadmetest koosnevad seadmekomplektid, mille hulgas EMG seade; teiseks eraldiseisvad EMG seadmed. Portatiivsete ning eraldiseisivate seadmete juures kasutati seadme konstruktsioonina tihti käe-, jala- või peavõrusid. Samas on näha erinevate seadmete dokumentides suhteliselt sarnased tööpõhimõtteskeemid. Joonisel 14 on näitena ära toodud EMG-l põhinev seade meditsiiniliseks raviks [40]. Joonisel on näha, te patenteeritud seadme konstruktsioon on sarnane enamikele EMG tagasisideseadmete konstruktsioonile, kus komponentideks on sensor, EMG signaali protsessor ja kontrolleri, kuvaseadis, mälu, opereeriv seade ning tagasisideseade. Antud seadme puhul on tagasiside viisideks: visuaalne – mõõtetulemuste kuvamiseks, elektriline – vaagnapõhjelihaste stimuleerimiseks.



Joonis 14 . Patenteeritud EMG tagasisideseadme skeem. Allikas: [40].

3.1.3. Tehnikataseme uuring

Järgmisena süveneti leitud patentide dokumentidesse ning selgitati välja EMG tagasiside-seadmete võimalikud lisafunktsioonid – eelkõige uuriti tagasiside viise. Kokkuvõtte tulemustest on esitatud tabelis 7. Enim kasutati seadmetes visuaalset (arvutiekraanid, mobiiltelefonid, kuvaseadised) ja akustilist tagasisidet (kõlarid, kõrvaklapid), kuid esines ka elektrilist ning taktilist (vibratsioon, surve) tagasisidet. Lisaks kohtas taotlusedokumentides tagasiside viisidena ka magnetilist [41] ning ka infrapunakiirgust [42]. Suuremal osal seadmetel oli ettenähtud rohkem kui üks tagasiside viisidest, seetõttu tabelis 5 toodud seadmete arv ei vasta tagasisideviiside summeritud arvule. Elektrilist ja taktilist tagasisidet rakendati enamjaolt taastusravi ning meditsiiniseadmetes.

Tabel 7. EMG seadmete patenditaotlustes esitatud tagasiside tüübid.

Märksõna kombinatsioon	Visuaalne tagasiside	Akustiline tagasiside	Elektriline tagasiside	Taktiline tagasiside	Muu	Seadmete arv
<i>emg+feedback</i>	42	20	18	13	1	68
<i>emg+biofeedback</i>	13	10	7	4	1	29

Samuti uuriti patentide olukorda, et mõista, kas leiutisele on patent väljastatud, on see tagasilükatud, menetluses või millisel põhjusel pole jõutud patendini (joonis 8).

Tabel 8. EMG seadmete patenditaotluste staatused.

Märksõna kombinatsioon	Taotlus menetlemisel	Patent väljastatud	Patent kehtetu/aegunud	Taotlus tagasilükatud	Määrata	Seadmete arv
<i>emg+feedback</i>	12	25	11	15	5	68
<i>emg+biofeedback</i>	2	13	6	5	3	29

Mõlema märksõna kombinatsiooni puhul ei oma niivõrd tähtsust kehtivate patentide osakaal, kuna mitmed taotlustest on menetlemisel, kuivõrd on tähelepanuväärne pigem nende patentide osakaal, millele on küll patent väljastatud, kuid on muutunud kehtetuks või nende patentide osakaal, millede puhul on taotlus tagasilükatud. Eelviimasel juhul on patendid tunnistatud enamjaolt kehtetuks lõivude tasumata jätmise tõttu, viimasel juhul aga seetõttu, et pole suudetud tõestada patenditaotluses esitatud uudsuse, tehnikataseme ja tööstusliku kasutamise väiteid. Dokumentidest lähtub ka, et sageli on taotlemise protsessist loobutud juba enne lõpliku otsuse saamist.

3.1.4. Kommertstoodete uuring

Viimasena selgitati välja mitmed EMG seadmeid müüvad ettevõtted ning uuriti, kas antud ettevõtetel on olemas antud toodetele või EMG valdkonnaga seotud patente.

Läbi *Google* otsingumootori tuvastati 5 EMG tagasisideseadmeid müüvad ettevõtted, samuti lisati nimekirja Tartu Ülikooli Spordibioloogia laboris kasutatava EMG seadme ME6000 tootja Mega Electronics (tabel 7).

OT Bioelettronica s.r.l asutati 2007. aastal ning asub Torinos Itaalias. Ettevõtte peamiseks tegevusvaldkonnaks on elektroonikaseadmete teadus- ning arendustegevus, spetsialiseerudes biomeditsiiniliste seadmetega seotud väikeseeria arendamisele ja tootmisele. Põhiklientideks peab ettevõtte ülikoole ja teaduskeskusi ümber maailma. Toodetest pakutakse nii lauavõimendeid (tooted: Quattrocento ja EMG-USB2+) kui ka portatiivseid EMG võimendeid (tooted: DueLite ja DuePro), adaptreid, elektroode, ergomeetreid ning EMG tarkvara (toode: OT BioLab+) [43]. Ettevõttel on esitatud patenditaotlus „Self-adjusting auto electrode-sensor for the acquisition of surface bioelectric signals” koos teise ettevõtte SPES MEDICA SRL-iga [44]. Andmebaasis puuduvad taotluse dokumendid, kui ka märked patendi väljastamise või menetluse kohta.

BTS Bioengineering (ettevõtte ametlik nimi BTS S.p.A.) on asutatud 1986 ning registreeritud Milanos Itaalias, esinduskontor ka USA-s Massachusettsi osariigis [45]. Ettevõtte väitel teevad nad kostööd ning on pakkunud erinevaid lahendusi nii NASA-le, USA sõjaväele, UCLA-le, kui ka Karolinska Instituudile ning Londoni Keiserlikule kolledžile [46]. Ettevõtte toodete rakendusvaldkondadeks on meditsiin, sport ning teadus. BTS Bioengineering pakub EMG toodetena FREEEMG, TMJOINT ning TEETHAN®, mis kõik paistavad olema sarnase konstruktsiooniga, kuid suunatud erinevatele kasutajatele: FREEEMG kasutamiseks taastusravis ja spordis; TMJOINT ja TEETHAN® kasutamiseks ortodontias. Ettevõtte BTS SPA on esitanud kaks patenditaotlust:

- 1) „*Wireless probe for dental electromyography*” – patenditaotluse protseduur on lõpetatud, kuna ettevõtte ei vastanud viimasele kirjavahetusele, milles esitati ameti poolt mitte-lõplik tagasilükkamine patenditaotleja esitatud patendiväidete kohta [47].

- 2) „*Electromyograph with data transmission comprising no metallic conductors*” – patent on väljastatud, kuid hiljem kuulutatud kehtetuks lõivu mittetasumise tõttu [48].

NORAXON on rahvusvaheline USA-s asutatud inimese liikumise uurimist võimaldavate seadmete tootja. Ettevõtte sõnul on nende toodete rakendusvaldkondadeks meditsiin, sport, ergonoomika jmt ning kaubamärgiks Ultium™. Ettevõtte on esitanud patenditaotluse „*Method and apparatus for a universal sensor*”, mis on hetkel menetlemisel Maailma intellektuaalomandi organisatsiooni ehk WIPO (ing k *World Intellectual Property Organization*) poolt ning 2019. aasta alguses on väljastatud esialgne uurimisraport, mis kinnitab patendidokumentides esitatud väiteid tõestamaks seadme uudsust, leiutustaset ning tööstuslikku kasutamise võimekust [49].

Delsys on 1993. aastal asutatud tehnoloogiaettevõtte, mis tegeleb kantavate EMG seadmete arendamisega ning pakub oma tooteid väga laias valikusorganisatsioonidele, kus tegelatekse liikumisteaduse uurimisega [50]. Patendiandmebaasist esp@cenet ei leitud antud ettevõtte nimel olevat ühtki patenti, kuid ettevõtte enda kodulehel on viide, et teatud seadmed ning meetodid on patenteeritud. Lähimal uurimisel tuvastati, et ettevõtte looja Carlo J. De Luca nimel on mitu EMG- ga seotud patenti [51].

BIOPAC Systems, Inc on 1993 aastal loodud firma, mis tegeleb laiahaardelise füsioloogilisteks mõõtmisteks vajalike tehnoloogiate ja seadmete arendamisega [52]. Patendiandmebaasist Espacenet ei tuvastatud ettevõtte nimel ühtegi patenti.

Mega Electronics Ltd on laialdaselt sh Tartu Ülikooli Spordibioloogia osakonnas kasutatava elektromüograafi ME6000 tootja. Alates 2017. aasta veebruarikuust on ettevõttes osa Bittium Corporationist [53]. Ettevõtte nimel on andmebaasi kaudu leitud üks väljastatud patent „*Arrangement and method for carrying out electrode measurements*“, kuid mille eesmärk on inimese ajuaktiivsuse, mitte lihasaktiivsuse, mõõtmine [54].

Tabelisse 9 on koondatud EMG seadmete arendamise ja turustamisega tegelevad ettevõtted. Mitmel neist on esitatud patenditaotlused: OT Bioelettronica s.r.l, BTS bioengineering ja NORAXON, kuid patendimenetlusedokumentidest lähtub, et nii mitmedki patendid ei kehti või ei ole menetlust veel lõpuni viidud. Seega ei saa väita, et antud ettevõtete EMG tooted on patenteeritud, pigem on ettevõtted märkinud toote juures ära, et tegemist on veel

registreerimata kaubamärgiga – tähis TM või registreeritud kaubamärgiga – tähis ®. Siinjuures võib esile tuua ettevõtte Biopac Systems, mille nimel ei tuvastatud ühtegi patenti, kuid mis on registreerinud, erinevalt teistest eelpool nimetatud ettevõtetest, oma toodete kaubamärgid.

Tabel 9. Ettevõtete poolt pakutavad kommerts EMG seadmed ning patendid.

Ettevõte	Pakutavad EMG tooted	EMG patent	Märkused/selgitused
OT Bioelettronica s.r.l.	DueLite, Sessantaquattro (sEMG signaali salvestajad), elektroodid	Self-adjusting auto electrode-sensor for the acquisition of surface bioelectric signals.	Esitatud on patenditaotlus, patendi menetluse ning andmise info puudub
BTS bioengineering	FREEEMG TMJOINT TEETHAN®	Wireless probe for dental electromyography	Patendi esitaja: BTS SPA. Patendimenetlus katkestatud EPO poolt.
		Electromyograph with data transmission comprising no metallic conductors	Patent aegunud, lõivu tasumata jätmise tõttu
NORAXON	Ultium™ EMG, Mini DTS, Clinical DTS	Method and apparatus for a universal sensor	Menetlemisel World Intellectual Property Organization poolt
Delsys	Trigno™ Research+, Tiber	Ei	Ei tuvastatud otsingu käigus
BIOPAC Systems, Inc	BioNomadix fEMG	Ei	Ei tuvastatud otsingu käigus
Mega Electronics (Bittium Bio-systems Oy)	Biomonitor ME6000	Ei	Patent väljastatud 2017, kuid ajuaktiivsuse mõõtmiseks

Kui mitmedki ettevõtted on välja toonud oma klientidena rahvusvahelisi uurimisasutusi ja kasutusvaldkondadena spordi, meditsiini, ergonoomika, teadustöö, siis Biopac Systems on oma toodete kasutusvaldkonnad jaganud kaheks teisel viisil: teadustöö ning õppetöö. Märkimisväärne on just viimane, kus pakutakse väga laiahaardelist õppevahendite paketti füsioloogiliste mõõtmiste läbiviimiseks sh elektromüograafiliste mõõtmiste teostamiseks ja visualiseerimiseks õppetöös [55].

Patendiuuringu eesmärk oli kaardistada erinevad võimalikud EMG seadmete funktsioonid ja konstruktsioonid selleks, et teha arendatavale elektromüograafial põhineva tagasisideseadmele parendusettepanekuid. Läbiviidud patendiuuringu tulemusel võib järeldada, et suurem osa esitatud patenditaotlustest, mis olid seotud EMG rakendamisega, jäid taastusravi/meditsiini valdkonda.

Olenemata kasutusvaldkonnast, uuriti ka leitud seadmete funktsioone ning konstruktsioone. EMG seadmete funktsioonidest tagasiside viiside analüüsimisel jõuti järeldusele, et enim kasutati seadmetes tagasisideks visuaalset (numbriline, graafiline, värvus), akustilist, elektrilist ja taktilist (puutetundlikku sh vibratsiooni) tagasisidet. Arendatava EMG seadme tagasisideks võib rakendada erinevaid viise, vajalik on lähtuda seadme põhifunktsioonist, seetõttu on mõistlik kaaluda seadmele akustilise tagasisidekuva lisamist, mis suurendaks seadme, kui õppevahendi, funktsionaalsust.

Kokkuvõtteks võib ka veel öelda, et enamus uuritud EMG seadmete juures esitatud skeemide tööpõhimõtted on sarnased arendatava tootega ning võimalik innovatsioon, mis võiks viia patenteerimiseni, seisneb pigem konstruktsioonelementide arendamises.

3.2. Elektromüograafi disaini ja kasutatavuse analüüs

Kasutajakogemuse uuringu esimeses etapis viidi läbi valjult mõtlemise meetodil (*Think Aloud Protocol*), mis andis võimaluse saada kvaliteetset tagasisidet potentsiaalsetelt toote kasutajatelt. Kõikidest katsetest tehti videosalvestused, mis omakorda transkribeeriti ja millede üleskirjutused on esitatud lisa 4.

Enne kasutajakogemuse hindamiseks vajaliku ülesande sooritamist pidid vaatlusalused täitma küsimustiku, et kaardistada nende EMG seadmete kogemused nii tava- kui ka õppetöös. 6 vaatluslaust olid eelnevalt oma õpingute käigus EMG mõõtmistega kokku puutunud ning seda peamiselt praktikumide käigus; 2 vaatlusalust olid seda teinud seoses oma tööga. Ainult üks vaatlusalustest periooditi kasutab EMG mõõtmisi oma töös.

Üldise seadme kasutamise mugavuse ja funktsionaalsuse analüüsiks vaadeldi ülesvõetud videoid ning uuriti kasutajate ülesande täitmisel esinenud kitsaskohti, mis hiljem võeti ka arvesse SHERPA analüüsi teostamisel.

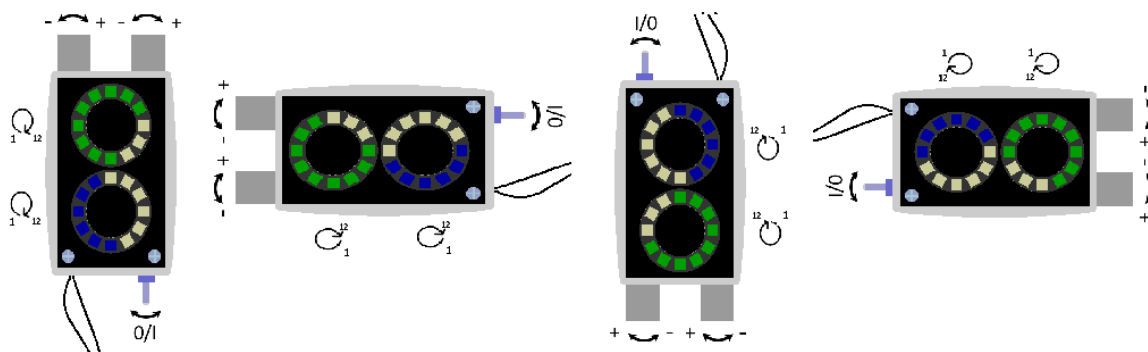
Analüüs viidi läbi vastavalt etteantud ülesannetele. Ülesande käigus võis vaadata seadme kasutamise lühijuhendit, kus oli mainitud vajadus seadme EMG signaali normaliseerimise kohta ja joonis seadmest.

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja. - ei valmistanud peavalu ühelegi osalejale.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed EMG sensoritega – kõikidel osalejatel tekkisid küsimused, mis on sensorid ja kuidas tuleks nendega ühendada juhtmed (viga 1). Seitse vaatlusalust kaheksast oleks juhtme küljes oleva pistiku ühendanud sensorisse vale pidi (viga 2).

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada see sisse – kuigi esialgselt võttis seadme ettenähtud asendis kätte 3 vaatlusalust, siis kaks neist muutis asendit järgmise ülesanne juures. Kolm vaatlusalust kasutasid seadet horisontaalses asendis. Korrektses so ettenähtud asendis kasutas seadet ainult 1 vaatlusalune (viga 3). Sisselülitamisega said hakkama kõik vaatlusalused. Üks vaatlusalune tuvastas verbaalselt I/O märgistuse olemasolu.

Joonisel 14 on kujutatud arendatava EMG tagasisideseadme kuva- ning juhtseadiste opereerimise loogika sõltuvus seadme käes hoidmise asendist, kus on näha, et seadme asetus käes võib mõjutada vaatlusaluste suutlikkust seadet sihipäraselt kasutada.



Joonis 14. Arendatava EMG tagasisideseadme juhtseadiste ning kuvaseadise asetuse ning opereerimise sõltuvus seadme käes hoidmise asendist.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid ühe kaupa suurimale vabatahtlikule pingutusele (MVC-le). Teatada kui eesmärk on saavutanud.- indikaatorite seadistamine oli kõikidele vaatlusalustele kõige keerukam ülesanne, kus tuvastati järgmised vead: ei ole selge, milline juhtseade reguleerib millist sensorit (viga 4), ainult 2 vaatlusalust seostasid LED-rõngaste ja potentsiomeetrite juures märgitud roomanumbrid I ja II; ei ole selge millise sensori tulemust

kuvab milline LED rõngas (viga 5); ei ole selge, millises suunas tuleb potentsiomeetrit keerata (viga 6); ei ole selge indikaatori 0-punkt (viga 6).

Ülesanne 5. Jälgida abilise liigutustegevust ja tõlgendada seda visuaalse tagasiside põhjal. – tegemist oli ülesandega, millega said üldjoones hakkama kõik vaatlusalused.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja – ülesandega said veatult hakkama kõik osalejad. Kaks osalejat olid eelnevatest ülesannetest nii haaratud, et unustasid oma tegevust kirjeldada.

Kõik analüüsi käigus ilmnunud vead kajastuvad SHERPA analüüsi tabelis, kus esitatakse vea tekkimise vältimiseks asjakohased ettepanekud.

Pärast vaatlust täitsid osalejad ka küsimustiku, et täiendada ning selgitada väljaütlemata jäänud mõtteid seadme konstruktsioonelementide kohta. Seadme vormitegurit so kuju ja mõõtmeid (kõrgus, laius, pikkus) hindasid kõik osalejad üldiselt sobivaks, kaks vaatlusalust mainisid aga, et seadme kuju tundub neile natukene kohmakas.

Juhtseadiste (nii potentsiomeetrid kui ka toitenupp) puhul hinnati nende suurust, asukohta ja funktsiooni. Kõik vaatlusalused hindasid juhtseadiste suurust mugavaks, lisaks toodi kasutajate poolt välja ka nende märgatavus ja kompaktsus. Kuigi 5 vaatlusalust hindasid nuppude asukoha sobivaks, siis kaks vaatlusalust soovis nende asukohta muuta ning üks vaatlusalune tegi ettepaneku selgemaks märgistamiseks. Juhtseadiste funktsionaalsuse hindamisel leidsid 4 vaatlusalust, et need on selgelt mõistetavad; kaks vaatlusalust ütlesid, et mõistavad seadiste funktsioone, kuid tõid esile, et nupu keeramisel pole selge, millist sensorit reguleeritakse, ning et nupud ei ole loetavad. Üks vaatlusalune tunnistas juhtseadmete funktsiooni arusaamatuks, üks tõdes asjaolu, et tarvis oleks juhendit.

Kuvaseadise puhul hinnati: suurust, kuju, värvust, eredust, funktsiooni ja indikaatori nullpunkti asukohta. Kui kuvaseadise suurust hindasid kõik vaatlusalused sobivaks, siis selle kujuga ei olnud rahul kolm vaatlusalust, kes kask tegid ettepaneku kasutada „rõnga“ asemel „riba“ kuju ning ühele vaatlusalusele oli kuvaseadise kuju üldiselt arusaamatu. 5 vaatlusalust hindasid kuvaseadise funktsiooni arusaadavaks, kaks vastajat arvasid, et funktsioon on osaliselt arusaamatu või et selle mõistmine ei olnud intuitiivne, samas kui üks vaatlusalune tegi ettepaneku kuvada ka numbriline väärtus. Indikaatori 0-punkti sobivaks asukohaks märkisid neli vaatlusalust (vastavalt kella analoogiale) „12“-peal; kaks vaatlusalust „6“-peal ning kaks vaatlusalust „1“-peal.

Lõpetuseks uuriti vaatlusalustelt, millisel eesmärgil võiks antud seadet kasutada? Vastuseks toodi:

- 1) Õppetöös, meditsiinis;
- 2) Vastanduvate lihaste pingutus-lõõgastumine uurimiseks;
- 3) Käsitööriistade ergonoomilisuse hindamine, töö monotoonus (graafik); lihaste staatilisus, ülesandeergonoomilisus;
- 4) Haardetugevuse määramiseks;
- 5) Reaktsioonikiiruse ja elektrilise lihasaktiivsuse seoste analüüs
- 6) Õppetöös;
- 7) Erinevate inimese liigutustegevuste uurimiseks.

Kaks vaatlusalust ei osanud tuua välja ühtegi eesmärki.

Hierarhilise tegumianalüüsi (HTA) aluseks võeti kasutajakogemuse uuringu käigus vaatlusalustele esitatud ülesanne ning jaotati need all-ülesanneteks.

Algsed, vaatlusalustele dikteeritud ülesanded:

- 1) Võtta seade karbist välja.
- 2) Ühendada juhtmed EMG sensoritega.
- 3) Võtta seade kätte ning lülitada see sisse.
- 4) Seadistada indikaatorid ühe kaupa suurimale vabatahtlikule pingutusele (MVC-le).
Teatada kui eesmärk on saavutanud.
- 5) Jälgida abilise liigutustegevust ja tõlgendada seda visuaalse tagasiside põhjal.
- 6) Lülitada seade välja.

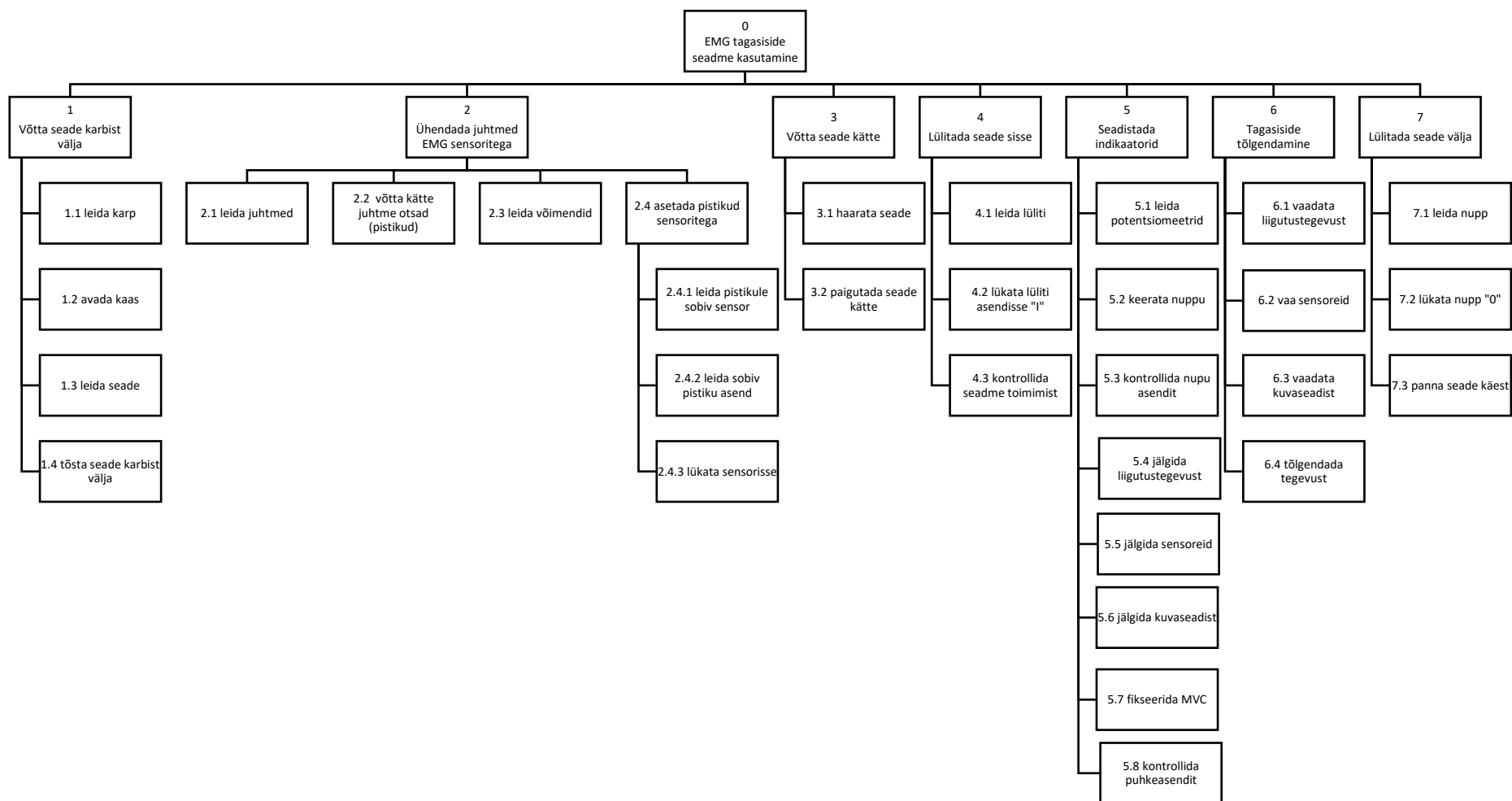
Analüüsi käigus esmatasandi ülesannete kaardistamisel, jaotati ülesanne 3. kaheks: 3. võtta seade kätte ; 4. lülitada seade sisse; mis muutis analüüsi esmatasandi ülesannet arvuks 7. Kui enamuse esmatasandi ülesanded jaotati kaheks kuni neljaks all-ülesandeks, siis ülesanne 5 (seadistada indikaatorid) aga oma keerukuse tõttu lausa kaheksaks (ülesanded 5.1-5.8). Ainukesena tuli ka kolmanda tasemeni jaotada ülesanne 2.4 (asetada pistikud sensoritesse), mis jaotati kolmeks all-ülesandeks so 2.4.1-2.4.3. Koostatud HTA hierarhiline diagramm on ära toodud joonisel 15.

SHERPA analüüs viidi läbi tuginedes eelnevalt koostatud EMG tagasisideseadme kasutajakogemuse ülesande alusel koostatud hierarhilisele diagrammile ning seal kirjeldatud ülesannetele. Samuti saadi vajalikku infot videosalvestiste üleskirjutistest. Vearežiimid

saadi: a) valjult mõtlemise vaatluse analüüsi käigus tuvastatud vigadest, b) uurija poolt väljamõeldud (prognoositud).

HTA struktuuri alusel analüüsiti vaatlusaluste tegevust täheldades ülesannete sooritamiseks vajalike tegevuste korduvust, millel väljundiks oli vea tõenäosus. Kriitilisuse hinnangu andis uurija analüüsides tegevuse mõju lõpptulemusele. Taastumisaja määramisel lähtuti vaatlusaluste sooritusest. Saadud info alusel esitati SHERPA analüüsi tabelis (tabel 10) ka leitud võimalikud parendusettepanekud arendatava seadme uue prototüübi loomiseks.

Parendusettepanekud on edaspidi väljatoodud jaotises Parendusettepanekud.



Joonis 15. Arendatava EMG tagasisideseadme HTA hierarhiline diagramm.

Tabel 10. Arendatava EMG tagasisideseadme kasutamise SHERPA tabel.

Ülesanne	Nr	Vearežiim	Kirjeldus	Tagajärg	Taastumine	T	K	Parandustegevus
A	B	C	D	E	F	G	H	J
Leida karp	1.1	A1	Kasutaja ei leia õiget karpi mitmete seast	Ei saa seadet karbis välja võtta	kohene	V	V	Vähendada otsimise aega pannes karbile pildi seadmest
Avada kaas	1.2	A1	Kasutaja ei saa karbikaant lahti	Ei saa seadet karbis välja võtta	kohene	V	V	Pakendada ootuspärase disainiga pakendisse
Leida seade	1.3	A1	Seade on lisapakendis	Ei saa seadet karbis välja võtta	kohene	V	V	Seade pakendada nii, et terve seade on koheselt hoomatav
		A1	Seade on osadeks võetud	Ei saa seadet karbis välja võtta	kohene	V	K	Seade pakendada kokkupanduna
Tõsta seade karbist välja	1.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Leida juhtmed	2.1	A1	Juhtmed omavahel keerdus	Keeruline eristada üksteisest	kohene	V	V	Vaadata üle juhtmete pikkus
Võtta kätte juhtme otsad (pistikud)	2.2	R3	Kasutaja ei mõista, kuhu pistikud kinnitatakse	Juhtmeid ei saa ühendada	kohene	K	K	Eristada pistikud värvidega, vastavalt LED-rõnga värvusele.
Leida sensorid	2.3	C2	Kasutaja ei tuvasta mõlemat sensorit	Seadme kasutatavus 0 % või 50% määral	kohene	V	K	Juhendi joonisel näidata kahte erinevat värvi sensorid
Leida pistikule sobiv sensor	2.4.1	R3	Kasutaja ei tea, milline pistik ühildub millisesse sensoriga	Valeühenduse tagajärjel seadme läbipõlemine	taastumatu	S	S	Eristada pistikute ja sensorite korpused värvidega, vastavalt LED rõnga värvusele.

Tabel 10. järg

A	B	C	D	E	F	G	H	J
Leida sobiv pistiku asend	2.4.2	A7	Kasutaja paigutab pistikud vales suunas (juhtme asukoht pistiku ja sensori suhtes)	Juhtmete valeühenduse tagajärjel seadme läbipõlemine	taastumatu	S	S	Paigaldada sensoritele korpus, mis tagaks pistiku korrektse paigalduse
Lükata pistik sensorisse	2.4.3	A4	Kasutaja ei suru piisava jõuga	Seadme kasutamine ei ole võimalik	kohene	K	K	Korpus sensoritele, mis võimaldaks tajuda, kui pistik on surutud piisavale sügavusele
Seadme haaramine	3.1	A9	Seade on ebamugav haarata	Seade kukub	kohene	V	V	Seadme materjaliks valida
Seadme kätte paigutamine	3.2	A7	Kasutaja võtab seadme kätte valet pidi	Raskendatud opereerimine	viivitusega	S	S	Märgistada ning paigutada seadme juht- ning kuvaseadised nii, et seadme kätte võtmise asend on eksimatu
Leida lüliti	4.1	S1	Kasutaja proovib kasutada potentsiomeetrit	Seda ei lähe tööle	kohene	K	V	Märgistada lüliti kaasaegse ning laialt mõistetava märgistusega
Lükata lüliti asendisse „I“	4.2	A3	Kasutaja proovib lüliti „I“ asendisse lükata vales suunas	Seade ei lähe tööle	kohene	V	V	Märgistada lüliti kaasaegse ning laialt mõistetava märgistusega
Kontrollida, kas seade töötab	4.3	C3	Kasutaja ootab sisselülitamise kohta tagasisidet	Paus seadme kasutamises	kohene	V	V	Paigaldada valgusallikaga lüliti

Tabel 10. järg

[illegible]

Tabel 10. järg

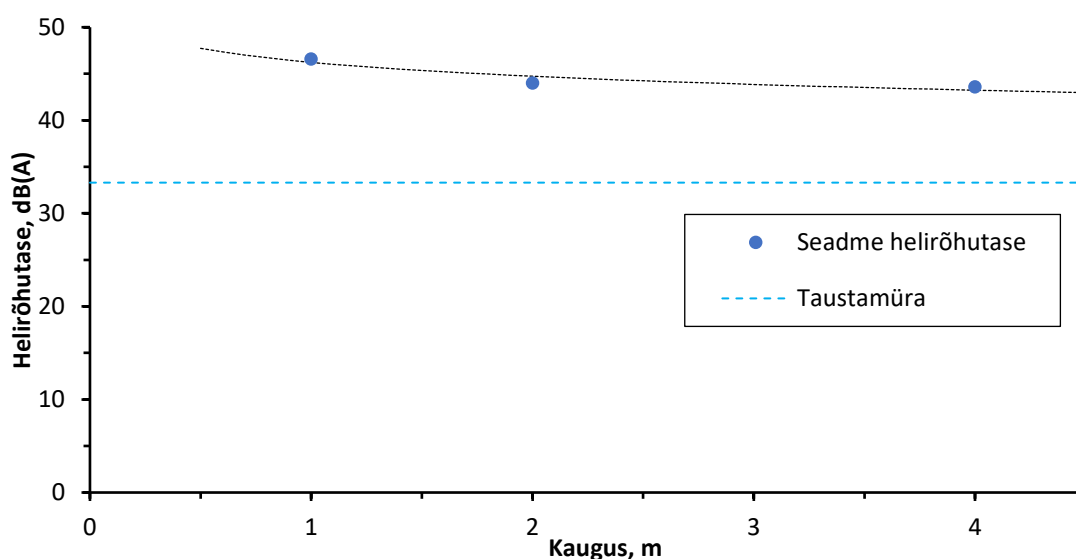
A	B	C	D	E	F	G	H	J
Fikseerida MVC	5.7	A2	Kasutaja ei suuda fikseerida hetke kui toimub maksimaalne pingutus	Pole võimalik korrektselt mõõta	kohene, viivitusega või taastumatu	S	S	Tundlikkuse reguleerimise asemel lisada maksimumi fikseerimist võimaldav nupp
Kontrollida puhkeasendit	5.8	C5	Kasutaja ei suuda fikseerida hetke kui lihased on puhkeasendis ja indikaator vastavalt „1“	Pole võimalik korrektselt mõõta	viivitusega	S	S	Tundlikkuse reguleerimise asemel lisada maksimumi fikseerimist võimaldav nupp
		C4	Kasutaja ootab indikaatori liikumist	Pole võimalik korrektselt mõõta	viivitusega	S	S	Tundlikkuse reguleerimise asemel lisada maksimumi fikseerimist võimaldav nupp
		C1	Unustab ära	Pole võimalik korrektselt mõõta	viivitusega	S	S	Tundlikkuse reguleerimise asemel lisada maksimumi fikseerimist võimaldav nupp
Jälgida liigutustegevust	6.1	C3-C6	Kasutaja ei suuda õigel hetkel jälgida õiget objekti või teostab seda viivitusega	Tagasi-sidestamine pole efektiivne	viivitusega	S	S	Tundlikkuse reguleerimise asemel lisada maksimumi fikseerimist võimaldav nupp ja jälgitavuse lihtsustamiseks tuleb kõikide seotud seadme komponentidele korpuste puhul rakendada sinist või rohelist värvikoodi
Jälgida sensoreid	6.2				viivitusega	S	S	
Jälgida kuvaseadist	6.3				viivitusega	S	S	

Tabel 10. järg

A	B	C	D	E	F	G	H	J
Tõlgendada tegevust	6.4	A1	Kasutaja ei suuda ennast verbaalselt piisavalt väljendada	Ei ole võimalik hinnata saadud kasutaja kogemust	taastumatu	K	S	Valimi laiendamine; täpsema ning selgema protseduuri loomine.
		A8	Kasutaja osaliselt väljendab kogemus	Ei ole võimalik hinnata saadud kasutaja kogemust	taastumatu	V	S	Valimi laiendamine; täpsema ning selgema protseduuri loomine.
		A9	Kasutaja jätab kogemuse väljendamata	Ei ole võimalik hinnata saadud kasutaja kogemust	taastumatu	V	S	Valimi laiendamine; täpsema ning selgema protseduuri loomine.
Leida nupp	7.1	A8	Kasutaja unustab seadme välja lülitada	Toiteallika tühjenemine	kohene viivitusega taastumatu	V	V	Tumbler asendada mitteennistuva valgustusega surunupplülitiga
Lükata lüliti asendisse „0“	7.2	A3	Kasutaja proovib lükata vales suunas, ei mõista „0/I“ märgistust	Seadet ei lülitata välja	kohene	V	V	Toitenupu märgistus asendada
		A8	Kasutaja unustab seadme välja lülitada	Toiteallika tühjenemine	kohene viivitusega taastumatu	V	V	Tumbler asendada mitteennistuva valgustusega surunupplülitiga
Panna seade käest	7.3	-	-	-	-	-	-	-

Helitaseme ja valguse heleduse mõõtmised prototüüpidel

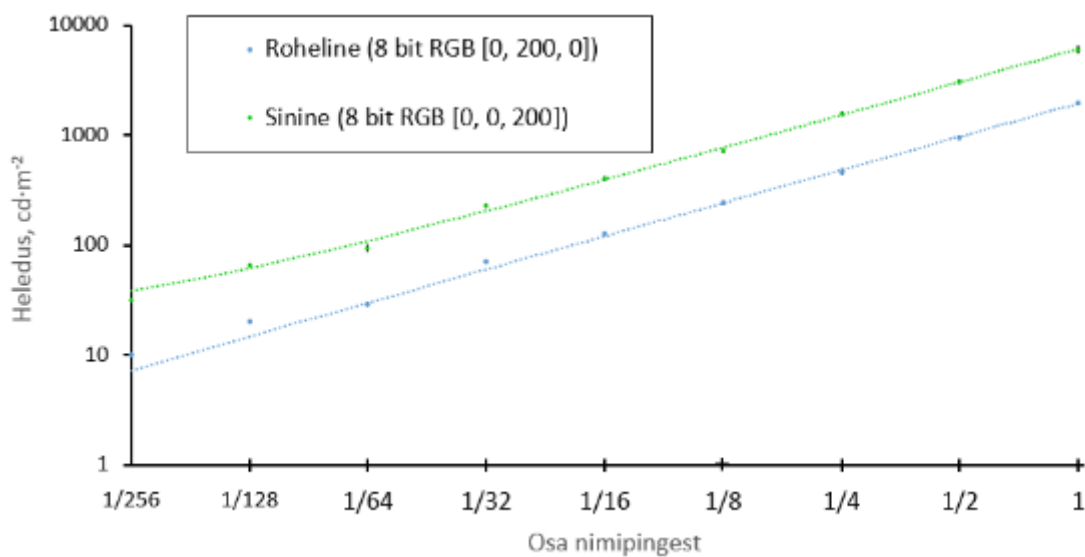
Patendiuuringu käigus ilmnas, et mitmetel EMG seadmetel on tagasiside viisiks akustiline tagasiside, seetõttu kaaluti ka V3.0 prototüübi edasiarendamisel piossummeri lisamist. Kuna V2.0 prototüübi korral tundus mikrokontrolleri külge ühendatud piossummeri helivõimsus kasin, kontrolliti seda objektiivsete mõõtmistega (joonis x).



Joonis 16. Prototüüp V2.0 akustilise tagasiside valjus sõltuvalt kaugusest.

Müra mõõtmine lõpetati kauguse 4 m juures, sest vahemaa suurenedes oleks mõõtmistulemuse ja taustmüra erinevus <10 dB ehk mõõtmistulemuse ja seadme tegeliku helirõhutamise erinevus oleks >0,5 dB. Võib järeldada, et taustamüra ei mõjutanud oluliselt mõõtmiste ajal EMG tagasisideseadmest tuleneva heli valjust (mõju jääb vahemikku 0,2-0,4 dB). Eelkõige mõjutas seadmes asukoht ruumis – kui 1 m kauguselt mõõtes oli tulemuseks 46,6 dB, siis 4 m kaugusel vähenes heli/müra märgatavalt so 43,4 dB- le, sest müra sumbumine 3 dB - suur ja selgelt märgatav.

Lisaks mürale/helile mõõdeti EMG tagasisideseadme prototüübi V 3.0 karbi kaane, kuvaseadiste ja ümbritseva tööpinna heledust, et vaadata, kuidas see võib mõjutada arendatava seadme kuvaseadise LED-rõnga ereduse tajumist kasutaja poolt. Mõõtetulemused on esitatud joonisel 17.



Joonis 17. EMG tagasisideseadme prototüübi V 3.0 kuvaseadise heledus sõltuvalt värvusest ja toitepingest.

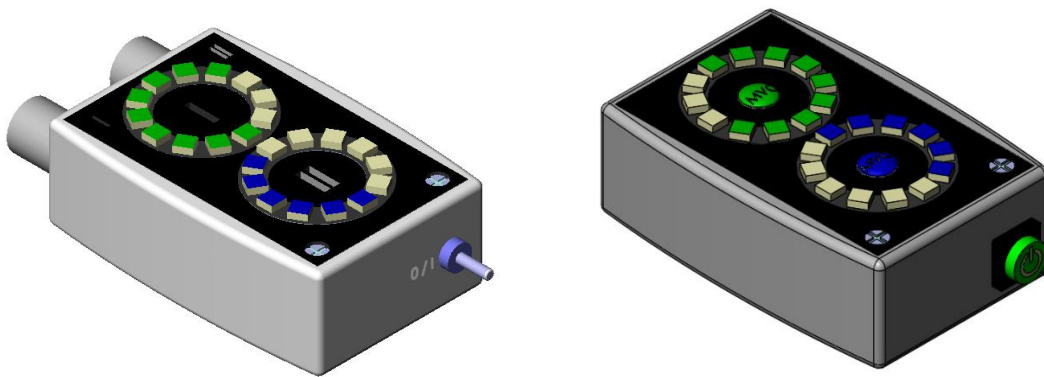
Pindade heledust mõõdeti ning tulemuseks saadi: karbi kaanel (must matt pind) 17 cd/m^2 , laua (valge matt pind) pinnal 80 cd/m^2 samal ajal oli tööpinnal valgustustihedus 360 lx . Kasutusmugavuse uuring ajal oli kuvaseadis programmeeritud $1/64$ nimipingele, ehk rohelise kuvaseadise heledus oli $94,2 \pm 5,0 \text{ cd/m}^2$ ja sinise kuvaseadise heledus $29,0 \pm 0,7 \text{ cd/m}^2$. Tulenevalt kuvaseadiste heleduse mõõtmistuleustest tuleks rohelise LED-rõnga pinget vähendada, et kuvaseadiste heledused oleks ühtlasemad.

Parendusettepanekud

Juhend. Igal seadmel, olgu tema kasutamine tarbijale nii intuitiivne, kui võimalik, peab olema kasutusjuhend. Seega tuleb kindlasti koostada EMG tagasisideseadmele kasutusjuhend võttes arvesse kasutajakogemuse uuringu käigus väljatulnud vead seadme opereerimisel ning ära tuua ka lisaselgitused EMG signaali mõõtmisega seotud eripäradest nagu signaali normaliseerimine, elektroodide kasutuskõlblikkuse tähtaja möödumine jmt.


Juht- ja kuvaseadised. Juhtseadisel pööratavad nupud (potentsiomeetrid) asendada iseennistuvate surunuppudega. Nupu keskele lisada kiri MVC (suurim vabatahtlik pingutus), mis loob seose nuppude funktsiooniga (signaali normaliseerimine) ja ühtlasi aitab selgitada ka seadme kätte võtmise asendit (teksti suund). Nupud peavad asetsema kuvaseadiste keskel, et seos nupu ja sellele vastava kuvaseadisega oleks kergemini tajutav. Muuta LED

kuvaseadiste skaala alguse asukohta. Skaala miinimumi on lihtsam tabada kui see asub „kella 12“ peal, mitte „kella 6“ peal (joonis 17).

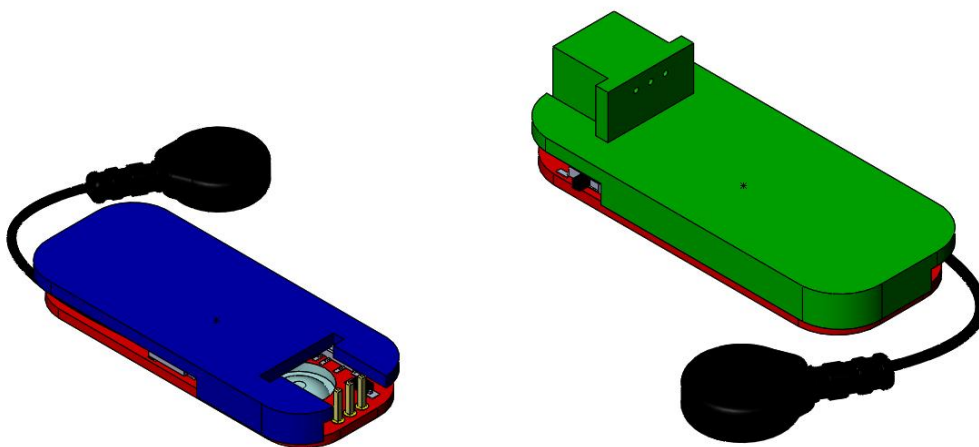


Joonis 18. Arendatava EMG tagasisideseadme prototüübid: a - V3.0 (kasutajakogemuse analüüsiks valminud seadme joonis); b - V4.0 (parendusettepanekute rakendamisel disainitud seade).

Samuti tuleb vähendada roheline LED-rõnga heledust sinise rõnga tasemele.

Lisaks potentsiomeetrite väljavahetamisega muuta ka seadme toitenuppu ning selle graafilist märgistust. Versioonil 3.0 kasutati märgistust „0/I“ ning kipplüliti ehk tumblerit, mis versioonil 4.0 tuleb asendada mitteennistuva surunupplülitiga, millele lisada tähistus .

Sensorite ühendamine. Nii valjult mõtlemise meetodil läbi viidud kasutajakogemuse uuring kui ka SHERPA analüüs näitasid, et vaatlusalustel tekkisid küsimused ja probleemid, mida saab lahendada sensorite katmisega värviliste korpustega.

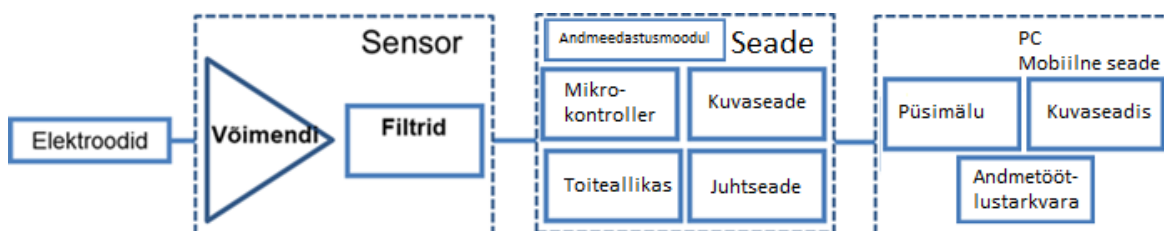


Joonis 19. Arendatava EMG tagasisideseadme sensorite värvilised korpused.

Kuigi juhtmete ühendamisel sensoritega ei oma tähtsus, milline juhe ühendub millise sensoriga st pistikud võib kinnitada emmale-kummale võimendile, siis kuvaseadise ning lihaste pingutuse eristamisel on tähtis tagada seadme kasutajale võimalikult lihtsasti tajutav olukord st sinine sensor asub sellel lihasel, mille tööd visualiseerib sinine LED-rõngas ning roheline sensor asub siis lihasel, mille tööd visualiseerib roheline LED-rõngas (joonis 19).

Lisaks värvieristusele on paigaldataval korpusel veel üks eesmärk - tekitada olukord, kus pistiku ühendamiseks sensoriga on ainult üks võimalus ning juba visuaalselt on seadme kasutaja poolt tuvastatav korrektne ühendamisviis. Selleks disainiti sensorite korpustesse asümmeetrilised avad (joonis 19 vasakul) ja muudeti juhtmete pisikute kuju (joonis 19 paremal).

Funktsionaalsus. Arendatav EMG tagasisideseade on ettenähtud kasutamaks õppetöös lihaste bioelektrilise signaali visualiseerimiseks. Samas tuleks kaaluda seadme varustamist juhtmevaba andmeedastusmooduliga (nt sinihammas, *blue tooth*) selleks, et oleks võimalik reaalajas mõõdetavat EMG signaali edastada arvutisse või mobiiltelefoni ning seeläbi kasutada seadet ka mõõtevahendina või kuvada analüüsimiseks pikemaid aegridu.



Joonis 20. Arendatava EMG tagasisideseadme V4.0 plokk skeem.

Joonisel 20 on esitatud arendava EMG seadme prototüübi V 4.0 plokk skeem, kus on lisaks võrreldes eelneva prototüübiga lisatud seadmele andmeedastusmoodul ning ühenduvus arvuti või mobiilse seadmega.

Kuna kõik lisafunktsioonid tõstavad seadme hinda ning suurendavad kaalu ja mõõtmeid, seetõttu on vajalik uurida kuluefektiivsust iga muudatuse tegemisel. Mikrokontrolleriga ühilduv sinihamba moodul nt: ettevõtte Guangzhou HC Information Technology Co mudel HC-05, maksab 11,4 €. Antud komponendi lisamine seadmele tõstaks prototüübi V4.0 maksumust võrreldes eelneva prototüübi V3.0 maksumusega vähem kui 10%, samas suurendab seadme funktsionaalsust märgatavalt.

KOKKUVÕTE

Uurimustöö esimeses etapis tutvuti elektromüograafi olemuse ning disainiga sh EMG seadmete usaldusväärseks kasutamiseks vajaliku normaliseerimisprotseduuri ja erinevate piirangutega, lisaks veel tagasiside olemusega. Kaasaskantavate ning käeshoitavate seadmete disaini põhimõtteid uurides jõuti järelduseni, et kuigi selliseid seadmeid ühendab universaalne vormitegur – seadmete kuju ja kaal peavad võimaldama kaasas kandmist ja käes hoidmist, siis ka antud tegur võib olla piiravaks asjaoluks kuva- ja juhtseadiste käsitlemisel ning seega ka seadme opereerimisel.

Erinevaid kasutatavuse kontseptsioone võrreldes leiti arendatava seadme kasutajamugavuse testimiseks sobilikud viisid sh valjult mõtlemise meetod, mis võimaldas hinnata potentsiaalsete kasutajate kogemust seadme kasutamisel ning HTA ja SHERPA analüüsid, millede kaudu tuvastati võimalikud inimevea tekkimise ja nende kõrvaldamise võimalused.

Patendiuuringu, mille käigus uuriti seni patenteeritud EMG seadmete erinevaid funktsioone ja konstruktsioone, tulemusena tuvastati, selleks et veelgi parendada arendatava seadme loodava prototüüpi omadusi, tuleks kaaluda arendatava EMG seadmele akustilise tagasiside lisamise.

Töö lõpetuseks analüüsiti patendi- ning kasutajamugavuse uuringu tulemusi ning tehti parendusettepanekud järgneva prototüübi loomiseks.

Magistri töö eesmärgi täitmiseks püstitatud ülesanded täideti ning jõuti selgete ja konkreetsete parendustegevusteni EMG tagasiside seadme uue prototüübi loomiseks, samas suudeti hoida kõrval eesmärki – seadme kuluefektiivust. Tehtud ettepanekud on küll nõ pisidetailides, kuid suurendavad seadme funktsionaalsust märgatavalt ning võimaldavad selle intuitiivsemat kasutamist.

Nüüd kui on tehtud parendusettepanekud EMG tagasisideseadme täiustamiseks, tuleb kindlasti edasi minna uue prototüübi valmistamisega ning jõuda testimisfaasi, kus seadme funktsionaalsust ning inimvea tekkimist saab mõõta ja analüüsida juba suurema, kvantitatiivset infot pakkuva valimi peal. Kasutajakogemuse rahulolule lisaks tuleks mõõta ka kasutuskvaliteedi mudeli riskituse ja kontekstikate aspekte selleks, et tagada arendatava EMG tagasisideseadme täielik kasutuskvaliteet.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. A. Diego-Mas, J. Alcaide-Marzal, and R. Poveda-Bautista, "Errors Using Observational Methods for Ergonomics Assessment in Real Practice," *Hum. Factors*, vol. 59, no. 8, pp. 1173–1187, Dec. 2017.
- [2] M. Reinvee and M. Pääsuke, "Overview of contemporary low-cost sEMG hardware for applications in human factors and ergonomics," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2016, pp. 408–412.
- [3] A. Burden, "Surface electromyography," in *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guidelines*, Routledge Taylor & Francis Group, 2007, pp. 77–102.
- [4] Institute of E. and E. Engineers, "IEEE," *IEEE Editorial Style Manual*. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>. [Accessed: 14-May-2019].
- [5] G. S. Rash, "Electromyography Fundamentals."
- [6] K. X. Charand, "Action Potentials." [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Biology/actpot.html>. [Accessed: 05-Apr-2019].
- [7] K. B. Ewy, G. A., Kern, "Recent Advances in Cardiopulmonary Resuscitation. Cardiocerebral Resuscitation," *Am. Coll. Cardiol.*, vol. 53, no. 2, pp. 149–157, 2009.
- [8] "Stephan Konz - Work Design_ Occupational Ergonomics-CRC Press (2017).pdf." .
- [9] W. S. Pease, H. L. Lew, and E. W. Johnson, *Johnson's practical electromyography*. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [10] W. S. Marras, "Industrial electromyography (EMG)," *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 6, no. 1. pp. 89–93, 1990.
- [11] E. Criswell and J. R. Cram, "Cram's introduction to surface electromyography," 2011. .
- [12] M. Reinvee and B. Mrugalska, "Contemporary Low-Cost Hardware for Ergonomic Evaluation: Needs, Applications and Limitations," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 793. pp. 386–397, 2019.
- [13] K. Niglas, "Kombineeritud ning alternatiivsed uuringudisainid sotsiaalteaduslikus uurimistöös." *Studia Generalia avalik loeng*, Tallinna Ülikool, p. 25, 2019.
- [14] K. Best, *Disainijuhtimise alused*. Eesti Disainikeskus, 2010.
- [15] "The Deming Institute," 2019. [Online]. Available: <https://deming.org/explore/p-d-s-a>. [Accessed: 17-May-2019].
- [16] "Amazon.com: Product Development: A Structured Approach to Design and Manufacture (9780750683098): Anil Mital, Anoop Desai, Anand Subramanian, Aashi Mital: Books." .
- [17] "Bert Haskell - Portable Electronics Product Design & Development-McGraw-Hill Professional (2009)."
- [18] A. Jamnia, *Introduction to Product Design and Development for Engineers*. CRC Press, 2018.
- [19] T. Peeter, V. Kuluefektivse, and E. Arendus, "EESTI MAAÜLIKOOL."
- [20] J. R. Lewis, P. M. Commarford, P. J. Kennedy, and W. J. Sadowski, "Handheld Electronic Devices," *Rev. Hum. Factors Ergon.*, vol. 4, no. 1, pp. 105–148, Jan. 2009.

- [21] “Waldemar Karwowski - International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition - 3 Volume Set (2006).pdf.” .
- [22] “Helander, Martin - A guide to human factors and ergonomics-CRC Taylor & Francis (2006).pdf.” .
- [23] ISO, “Ergonomics -- General approach, principles and concepts ISO 26800:2011.” 2011.
- [24] N. Stanton, M. Young, and C. Harvey, *Guide to Methodology in Ergonomics*. CRC Press, 2014.
- [25] “Heuristika,” 2019. [Online]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Heuristika>. [Accessed: 21-May-2019].
- [26] A. Bruun and J. Stage, “An empirical study of the effects of three think-aloud protocols on identification of usability problems,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, vol. 9297, pp. 159–176.
- [27] E. Charters, “The Use of Think-aloud Methods in Qualitative Research An Introduction to Think-aloud Methods,” *Brock Educ. J.*, vol. 12, no. 2, Jul. 2017.
- [28] J. P. Leighton, *Using Think-Aloud Interviews and Cognitive Labs in Educational Research*. Oxford University Press, 2017.
- [29] N. A. Stanton, D. P. Jenkins, P. M. Salmon, G. H. Walker, K. M. A. Revell, and L. A. Rafferty, “Hierarchical Task Analysis,” *Digitising Command and Control*. pp. 39–62, 2018.
- [30] N. A. Stanton, “Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions,” *Appl. Ergon.*, vol. 37, no. 1 SPEC. ISS., pp. 55–79, 2006.
- [31] N. Stanton, *Human Factors In Consumer Products*. CRC Press, 2014.
- [32] J. Olt and V. Maksarov, *Tehnikainstituut Institute of Technology*. .
- [33] H.-G. S. C. G. Tech, “Method Manual: Think Aloud Protocol,” 2018. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=pxsJkAk_eo0. [Accessed: 20-May-2019].
- [34] D. Hitchcock, *Patent searching made easy : how to do patent searches on the internet and in the library*. .
- [35] *Patendiseadus*. Riigikogu.
- [36] Eesti Patendiamet, “Mis on patent?,” 2018. [Online]. Available: <https://www.epa.ee/et/patendid/mis-patent>. [Accessed: 17-May-2019].
- [37] L. Weinstein, K. T. Ulrich, T. E. Devlin, and C. Burns, “Bruxism biofeedback apparatus and method,” US6117092, 2000.
- [38] C. . Gross, “Intelligent body support,” US5827209, 1998.
- [39] C. JAYALATH, DHANANJA; WIEBE, “Wearable Architecture and Methods for Performance Monitoring, Analysis, and Feedback,” US2017035354, 2017.
- [40] MO SEUNG KEE and L. S. YEOL, “Electrical apparatus for medical treatment using EMG envelope signal,” 2001.
- [41] J. H. KIM and K. S. TAI, “BIOFEEDBACK APPARATUS USING MAGNETIC STIMULATOR AND CONTROL METHOD THEREFOR,” US2015328475, 2105.
- [42] B. A. Бутуханов, Владимир Васильевич; Сорокиков, “METHOD FOR TREATMENT OF ERECTILE DYSFUNCTION,” RU2005111428, 2006.
- [43] “OT Bioelettronica.” [Online]. Available: <https://www.otbioelettronica.it/index.php?lang=en>.
- [44] B. A. F. D. M. E. M. MATTEO, “OT BIOELETTRONIC patent,” ITGE20080056 (A1) — 2009-12-21.
- [45] “BTS Engineering kontaktid.” [Online]. Available: <https://www.btsbioengineering.com/contacts/>. [Accessed: 14-May-2019].

- [46] “BTS Bioengineering references.” [Online]. Available: <https://www.btsbioengineering.com/company/references/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [47] F. Renzulli, J. Costella, B. Ros, and E. Fermi, “Wireless probe for dental electromyography,” US2017112409, 2017.
- [48] A. Dellacorna and SRL BTS, “Electromyograph With Data Transmission Comprising No Metallic Conductors,” US5233999, 1993.
- [49] P. BRENT and B. DAVID, “METHOD AND APPARATUS FOR A UNIVERSAL SENSOR.”
- [50] “Delsys,” 2019. [Online]. Available: <https://www.delsys.com/company/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [51] C. J. De Luca, “CARLO J. DE LUCA as the inventor.” [Online]. Available: https://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en_EP&DB=EPODOC&ST=advanced&TI=&AB=&PN=&AP=&PR=&PD=&PA=&IN=CARLO+J.+DE+LUCA&CPC=&IC=&Submit=Search. [Accessed: 15-May-2019].
- [52] Biopac Systems Inc, “Biopac Systems Inc.,” 2019. [Online]. Available: <https://www.biopac.com/corporate/about-biopac/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [53] “Bittium,” 2019. [Online]. Available: <https://www.bittium.com/>. [Accessed: 15-May-2019].
- [54] R. Lappalainen, E. Mervaala, K. Myllymaa, S. Myllymaa, and J. Toyras, “ARRANGEMENT AND METHOD FOR CARRYING OUT ELECTRODE MEASUREMENTS,” US2015238106, 2015.
- [55] Biopac Systems Inc, “Biopac Systems Inc,” 2019. [Online]. Available: <https://www.biopac.com/education/>. [Accessed: 15-May-2019].

LISAD

Lisa 1. Uuringus osaleja teavitamise ja teadliku nõusoleku vorm

Üldine teave

Läbiviidava uuringu eesmärk on selgitada Maaülikooli tehnikainstituudis arendatava EMG seadme kasutajamugavust. Uuringus rakendatakse *Think Aloud* meetodit, mille käigus vaatlusalune kirjeldab ülesande täitmise kulgu verbaalselt püüdes kirjeldada oma tegevusi ning valikuid sealjuures oma mõtteid tsenseerimata. Vaatlus salvestatakse.

Filmimise korraldus ja osalemine

Arendatava seadme katsetamises osalemine on vabatahtlik. Videos osalemine, osalemisest keeldumine või osalemise katkestamine ei too Teile kaasa kohustusi. Teil on õigus igal ajal filmimine katkestada või sellest keelduda.

Andmete töötlemine ja avaldamine

Kogutud andmete töötlemise eest vastutavad Mari-Liis Štrik-Ott ja Märt Reinvee. Filmimisega jäädvustatud andmeid kasutatakse toote disaini analüüsiks. Videosalvestist ei avaldata üheski avalikus video- ega muus keskkonnas. Videosalvestis hävitatakse magistr töö kaitsmise järel.

Tean, et täiendavat teavet annab mulle:

Mari-Liis Štrik-Ott Eesti Maaülikooli ergonoomika õppekava magistrant Fr.R.Kreutzwaldi 56/1, Tartu e-post: mari-liis.strik-ott@student.emu.ee telefon: 555 93 123	Märt Reinvee Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi spetsialist Fr.R.Kreutzwaldi 56/1 A215, Tartu e-post: mart.reinvee@emu.ee telefon: 731 3311
---	---

Teavitaja nimi ja allkiri _____

Kuupäev _____

Nõusolek

1. Käesolevaga olen mina, allakirjutanu, nõus vabatahtlikult osalema uuringus.
2. Saan aru, et mul on õigus filmimisest loobuda.
3. Annan loa filmitud materjali kasutamiseks ülalkirjeldatud viisil ja eesmärkidel.

Mind, _____, on teavitatud ülalkirjeldatud filmimisest ja ma olen teadlik selle eesmärgist ja korraldusest. Kinnitan nõusolekut seadme katsetuses ning sellega seotud filmimises osalemiseks oma allkirjaga.

Nõusoleku andja allkiri _____

Kuupäev, kuu, aasta _____

Lisa 2. Eelneva EMG kasutamise kogemuse küsimustik

EELNEV EMG KASUTAMISE KOGEMUSE KÜSIMUSTIK

Eksperdi jrk nr	
Kuupäev	

Palun täitke küsimustik tõmmates ring ümber teile sobiva vastuse või kirjutage oma vastus.

1. Kas olete eelnevalt oma töös kokku puutunud elektromüograafiaga (edaspidi EMG)?

- a) JAH
- b) EI

2. Kas olete eelnevalt oma õpingute käigus kokku puutunud EMG-ga?

- a) JAH
- b) EI

3. Kas kasutate/olete kasutanud EMG seadmeid oma töös?

- a) JAH
- b) EI

3.1 Kui vastasite JAH küsimusele 3, siis palun hinnake kasutamise sagedust:

- a) kasutan/kasutasin pidevalt
- b) kasutan/kasutasin aeg-ajalt
- c) pole ammu kasutanud

4. Kas olete kasutate/olete kasutanud EMG seadmeid õpingute käigus (kui üliõpilane)?:

- a) JAH
- b) EI

4.1 Kui vastasite JAH küsimusele 4, siis palun hinnake kasutamise sagedust:

- a) kasutan/kasutasin pidevalt
- b) kasutan/kasutasin aeg-ajalt
- c) pole ammu kasutanud

5. Millisel eesmärgil olete EMG seadet kasutanud (võib-olla mitu vastust):

- a)
- b)
- c)
- d)

TÄNAN VASTAMAST!

Lisa 3. EMG tagasisideseadme testimisjärgne kasutajakogemuse küsimustik

EMG SEADME TESTIMISJÄRGNE KASUTAJAKOGEMUSE KÜSIMUSTIK

Eksperdi jrk	
Kuupäev	

Palun vastake mõne lausega allpool toodud küsimustele

1. Kui proovisite seadet kasutada, siis milline oli teie üldmulje?

2. Mis teile kõige rohkem selle seadme puhul meeldis?

3. Mis teile kõige vähem selle seadme puhul meeldis?

4. Mida võiks teie arvates seadme puhul muuta?

5. Kas ja kuidas mõjutas käes hoidmist seadme:

a) pikkus

b) laius

c) kõrgus

d) kuju

6. Hinnake nuppude:

a) suurus

b) asukoht

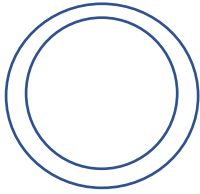
c) funktsioonid

-----Jätkub pöördel-----

7. Hinnake kuvaseadise:

- a) suurus
- b) kuju
- c) värvused
- d) eredus
- e) funktsioon

8. Kus peab asuma indikaatori tase 0?



9. Kas ja millistel eesmärkidel võiks teie arvates antud seadet kasutada?

TÄNAN VASTAMAST!

Lisa 4. Videosalvestuste üleskirjutised

Kasutajakogemuse uuring valjult mõtlemise meetodil

ÜLESANDED

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune nr 1 (paremakäeline)

Ülesanne 1: - (ei onud algselt lisatud)

Ülesanne 2: Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: küsimuse, et mis nupud või juhtmed need on? Kuhu ma need paigutama pean? Kuidas ma need ühendan? Lükkan need nupud siia otsa? Prooviks teistpidi ka. Niimoodi siis, jah? Kui tugevasti tuleb lükata? Siin võiks olla mingi nooleke, mis näitab seda, kus poolt ühendada. [mõlemad võimendid on kinnitatud].

Ülesanne 3: Võtta seade kätte ning lülitada sisse

Vaatlusalune: nii, ma arvan, et sellest nupust [lökkab seadme toitenupust tööle] on selge ja arusaadav.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: Miks see sinna läheb? See on siis maksimaalne. Nii roheline on nüüd väljas. Ehk peaksin need kaks siis täis saama? kaua ma pean seda lükkama? Nii...(3:10) Hästi tundlik on.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: nii, maksimaalne pingutus....pingutus, pingutus jällegi, teisele poole liikus. Pingutus üles, alla, üles, alla.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: nii, siit nupus.

Vaatlusalune nr 2 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja: -

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: nii siin paistab olema kolm auku, siin on kolm klemmi. Ma eeldan, et siin ei ole mingit vahet, kumb läheb kummale. Aga on, seetõttu oleks vaja kasutusjuhendit.

Praegu teen huupi. Kui ei oleks töötanud, siis oleksin aru saanud ning oleksin ümber teinud või oleksin juhtmed läbikärsatanud. Nii, vist on paigas.

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: siin on see seade, siin on null ja üks. Vajutan ühele ja läks tööle. Vist on sees.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: nii...aitab, teen teise ka. Nüüd peaksid kõik tuled ilusti põlema, kõik korras. Huvitav, et kõik tuled jäid põlema. Palju sai. Keeran tagasi, teeme uuesti. Null on, kui üks jääb põlema. Nii...ühete pidi töötab väga hästi. Nii vaatame, kas ma sain või läks üle. OK, tundub, et nüüd töötab. Nii, kõik tuled töötavad. Selle seadistamine on suht keeruline, ei tea kui ülekeerad.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: nii kui praegu pigistab, siis läheb roheline, ja kui pöörab, siis läheb sinine. Järelikult kui käsi on ühele poole siis on... st kui on painutus, siis on sinised tuled ja kui on sirutus, siis on rohelised tuled. Ja pigistades siis põlevad mõlema tuled, järelikult lihased aktiveeruvad. Rohkem rohelised, aga sinised ka. Ok, mõlemad. Aga kui käsi kogeag liigub, siis need tulemused tegelikult ka muutuvad, selles mõttes, et kui käsi ei ole puhke olekus, siis need tulevad blingivad, võib-olla oleks numbriliselt ägedam.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: Lülitan seadme välja. Väljas.

Vaatlusalune nr 3 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja –

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: nii, ühendan andurid...üldse ei orienteeru...kumba juheta tuleks ühendada... ühendamiskohti on põhimõtteliselt.. üks ... kas need on siis omavahel. Aah, oi, teisel pool kätt oli ka! Nii ühesõnaga, ilmselt...Nii, ei saa üldse pihta... Ikka peaks nii hoopis minema. Pagan...mu enda peenmotoorika on suhteliselt emh...

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: nii vajutan siis siit. Lülitatud.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: Oot-ott nüüd, loe palun uuesti. ... ei oskagi öelda. .. kas sinised peaks nulli minema?.....

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: mida loen mina välja skaalalt? Lihastes toimub mingi muutus... Ei tea.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: (lülitas välja)

Vaatlusalune nr 4 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Vaatlusalune: Nii võtan seadme karbist välja. Kas ma pean kõike kõvasti rääkima? Panen seadme enda ette. Siin on mingid vigurid, need peaksid kuskile lihase külge käima.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: siin on augud. Kas siin on niimoodi, et ükskõik kumb või on parem ja vask? Nii vasak.. üks on punane, teine on ka punane. Siin on kirju riba. Ma oletan, et see punane on parem siis. Valesti? ... aah, nii. Kui kõvasti läheb sisse. Aah, läheb. Siia poole ka, niipidi? Nii, nüüd panin need siis külge.

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: näen kahte ekraani. Üks on sinine ja teine on roheline.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: oota üks hetk! Kus ma need..., kumb see nüüd parem on? Kas mul on eesmärk saada tuled maksimaalselt põlema? Mõlemad tuled? Nüüd ma panen ühte lihast. See on parem. See on ülemine. See on nüüd maksimumi peal. Ja nüüd alumine.. see on ka juba maksimumi peal. Mõlemad on maksimumid. Nii seade tuleb seadistada napilt kaheteistkümne peale. Kus ma neid kaheteistkümneid näen? Mis see... kus see kaskteist on? Aah! See on siis kellaaeg nagu. See peaks siis olema kaheteistkümne peal ja kui on puhke olekus, siis on üks. Kui sa puhkad siis on üks. Kas see on sama lihasgrupp või on see teistpidi lihasgrupp? See on see. Praegu tegelesin ülemisega ainult. Praegu puhkab, saime maksimaalse. Nüüd alumine liigutus, see on praegu ekstensioonis. Mis ta mul praegu näitab siis? Kõike, et nagu olekski siis juba nagu maksimumi peal. Nüüd on maksimum, maksimum... Siin on kaksteist indikaatorit, et see peab siis kõik tegema heledaks. Praegu ta teeb.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: pingutab lihaseid. Ülajäseme lihaseid pingutades tekib ekstensioon... nende lihaste pinge on suurem kui sisemiste lihaste pinge. Nüüd vastupidi. Ekstensioon on koguaeg intensiivne, koguaeg maksimumil. Ja nüüd on maksimum fleksioonil. Nii pärast pingutust lõõgastus võtab veidike aega. Fleksioon sai rahulolekusse paremini kui ekstensioon. Nüüd sa jälle pingutad. Nii, tähendab, survestades minu näppu, siis välimised lihased või välimine andur näitas kõrgemat pinget.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: Lülitan välja.

Vaatlusalune nr 5 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Vaatlusalune: aa, nii, selline, ok. Tundub täitsa käepärane, mahub kätte ära. Aga ma ei tea, kas seda on vaja käes hoida? Selles suhtes, et niipidi on vist õigem.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: nii ühendame, kas nii peaks minema või? Nii, käis lihtsalt. Nii teine ka, kus see teine on? Kas siin on vahet ka selles mõttes, et kumba pidi ta läheb? Või vahet ei ole kummale? Ahaha, nii see ühendamine on küll lihtne. Selles mõttes, et klõps ja klõps.

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: võtan seadme kätte. Isegi käepärane disain on. Natuke on siin nurka lihvitud. Nii lülitan sisse... siin tekib mul küll küsimus, et kuhu ma pean lülitama: vajutama või tõmbama. Pean vajutama? Aah, või nii. OK, sain hakkama. Väga ilus värviline, LED-tuled.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: aha, on näha küll, et tõuseb. Ma küll ei saa aru, kumb on kumb?... Ei tea, kuidas ma need juhtmed nüüd siia panin. Aga siin ei ole nagu vahet? Ok, see on siis siia poole. Nüüd sa teed maksimum pingutust. Nii, nupuga saab tundlikkust muuta, peaks seda kruttima. Siin näitab küll jah, et on maksimaalne pinge peal ja peab seda keerama vaiksemaks. Ma ei saa aru küll, mille jaoks ma pean seda seadistama? See on küsimus... Nii, nüüd nad põlevad. Nii nüüd nad peaks puhke olekus olema nii ja siis teine peaks olema nii. Aga siin läksid lihased juba pingesse teisel pool. Nüüd läks jälle midagi untsu. Ok, nüüd on siin ka peaaegu siis üks. Teiselt poolt, niipidi, tuleb väga õigesti.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: toimib ja toimib. Nii, sa vajutad küll, aga midagi ei muutu. Hästi vähe, kuigi tegelikult on 20 juba.. 25... 40, siin läheb juba tugevamaks.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: nii, lülitan seadme välja.

Vaatlusalune nr 6 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Vaatlusalune: võtan seadme karbist välja. Ma ei oska sellega midagi peale hakata.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: need juhtmed siis. Mõlemad juhtmed, kas on oluline ka kumb kummale? Ei ole. Juhe läheb siit poolt. Nii ja nüüd panen teise ka. Ja siit peab ka nii panema? Lihtsalt ei lähe. Ei julge kõvasti vajutada. Nii. Läks.

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: nii läks sisse ja lõi tuled ette.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: kas ma pean need kuidagi seisma jätma sinna? Siin ei ole tasemeid ju? Praegu on kaks, üks. Palju neid siin kokku on? Kaksteist? Mõlemad ühe kaupa. Alustan sinisest siis. Aaa, sinine on see hoopis. Nii, tuli kaksteist. Nii nüüd on täpselt kaksteist. Nii roheline natukene veel, natukene veel. Maksimum, mis mõttes! Nüüd tuli maksimum. Ei tulnud, on ainult kümme. Muuta tundlikkust? Siit nuppude pealt? Ok, kumb kumma oma on. Kas ma pean vaatama ka, et sellest juhtmest läheb siia? Ei? Ok, proovin. Ma täiesti suvaliselt keeran neid praegu. Mis ma teen? Sain, sain, sain...Tuleb, teine nupp oli. Nüüd teine ka. Aaa, siin on üks ja siin on üks ja kaks-kaks. Tundlikkus, vähendasin vist praegu? Nüüd tuli. Sai vist natukene palju, võtan sinist vähemaks.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: pingutad keskmiselt ennast. Ja pingutus on jälle keskmine. Maksimaalne. Keskmine. Nüüd sa pingutad. Lase korra laht. On nii imelik, kui sa ei pinguta, siis ikka tulukesed vilguvad.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: - (lülitas välja).

Vaatlusalune nr 7 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Vaatlusalune: võtan välja.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: On vahet ka siin? Näen esimest korda sellist asja. Ma ei tea. Kuhu ma need siis panen? Pole õrna aimugi. Niipidi? Tagant siis?

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: Võtan kätte ning lülitan. Oo, läks vist õigele poole.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: mis see tähendab, et ma seda seadistan? Ma täpselt ei tea, mis teha tuleb? Saan aru, et napilt kaksteist tuleb panna. ... Ok, millega ma seda teen? ... Kas ma pean siis siit keerama? Kas ma pean siis ise välja mõtlema, mida teha? Ma ei saa midagi aru. Ma ei saa isegi aru, mis siin muutuma peab? Kas see alumine siis muutub? Ma saan aru, et kui painutada, siis hakkab see liikuma, aga ma ei saa seadistamisest aru. Aaa, et kui puhke olekus, et siis on üks. Kumba kerida. Ma vaatan...aaa, see peab ka muutuma? Nii siin on üks. Ja kui maksimum siis peab olema kaksteist? Aaa, vasakule on siis vähem.

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: Pean vaatama mõlemat seadet? Mida suurem pingutus, seda rohkem neid täppe tekib sinna.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: nii.

Vaatlusalune nr 8 (paremakäeline)

Ülesanne 1. Võtta seade karbist välja

Vaatlusalune: võtan seadme karbist välja.

Ülesanne 2. Ühendada juhtmed sensoritega

Vaatlusalune: nii, kas siin on.... Karbil on peal, et siin on üks ja kaks, võiks ka juhtme pea olla, sest siin on peale kirjutatud „üks“ ja „kaks“. Oletame, et see on üks. Kas on ka vahet, mis pidi. Kui on siis see ongi tingimus juba. Nii, mis see siis on, keskmine ei taha sisse minna. Nii läks. Väga kiirelt läks sisse, Teine ka samamoodi.

Ülesanne 3. Võtta seade kätte ning lülitada sisse.

Vaatlusalune: lülitan seadme sisse, kohe on näha, et mingi signaal jookseb peale. Kumb näitab mida? Üks on painutaja, teine sirutaja lihas.

Ülesanne 4. Seadistada indikaatorid

Vaatlusalune: Seadistamine käib vist siit. Tuleb oletada, kas või kumb on siis esimene või teine. Intuitsiooni põhjal, sest et Eestimaal käib lugemine vasakult paremale. Oleksite kuskil araabia riikides, siis seal käib vastupidi. See töötab väga hästi ja see teine lihas ... nüüd ma keerasin ta juba põhja. Siin on kaksteist ringi?

Ülesanne 5. Tagasiside tõlgendamine

Vaatlusalune: käsidünamomeeter, pingutad - saame vastava tulemuse. Vahe peaks olema kolm pool. Naistel 2,5, meestel 3,5. Sest meeste haardeulatus on suurem kui naistel. No näed, siit tuleb pool ala, isegi rohkem.

Ülesanne 6. Lülitada seade välja

Vaatlusalune: -

Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mari-Liis Štrik-Ott,

(*autori nimi*)

Sünniaeg: 29.04.1983,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö:
Elektromügraafia tagasisideseadme arendus

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Märt Reinvee,

(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)